

de.wikipedia.org

Klimageschichte

Autoren der Wikimedia-Projekte

41-50 Minuten

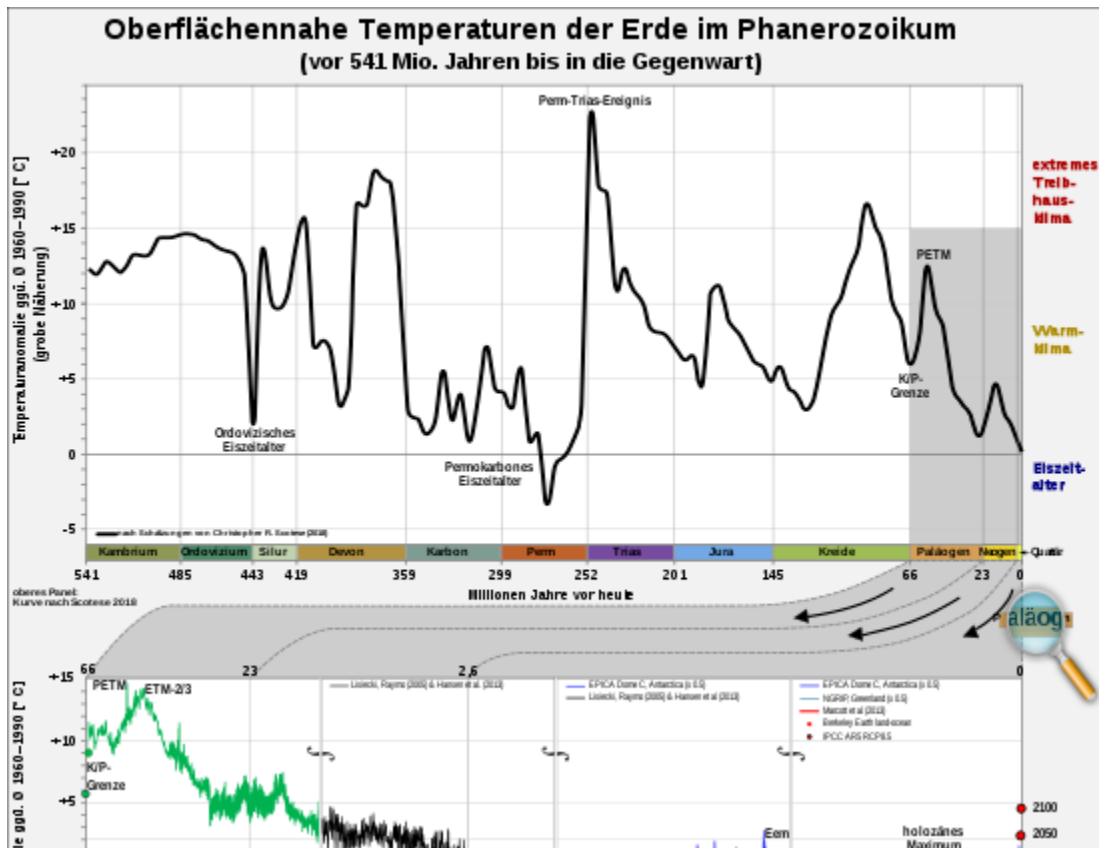
Die **Klimageschichte** dokumentiert Entwicklung, Schwankungen und Auswirkungen des irdischen [Klimas](#) sowohl in geologischen Zeiträumen als auch in den Epochen der jüngeren Vergangenheit. Je nach zeitlicher Perspektive werden dabei Klimaverläufe über wenige Jahrzehnte bis hin zu einigen hundert Millionen Jahren analysiert. Die Wissenschaften zur Erforschung des Klimas sind die [Paläoklimatologie](#) und die [Historische Klimatologie](#). Letztere verzeichnet auch die verschiedenen [Wetteranomalien](#) in historischer Zeit, die unter anderem von heftigen [vulkanischen Eruptionen](#) hervorgerufen wurden.

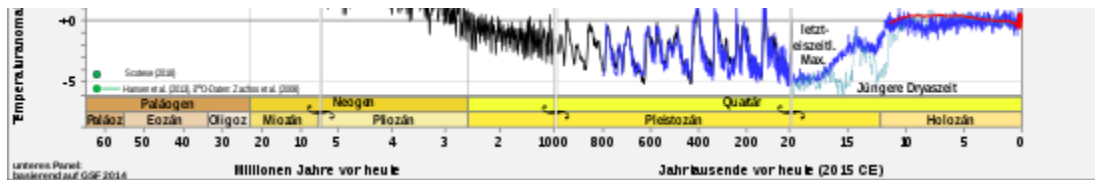
Zuverlässige und instrumentell ermittelte Temperatur- und Klimadaten stehen auf breiterer Basis erst seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Informationen über frühere Zeiträume galten lange als relativ unsicher, können jedoch zunehmend besser und genauer belegt werden. Traditionell werden hierbei sogenannte [Klimaproxy](#)s aus natürlichen Archiven wie [Baumringe](#), [Eisbohrkerne](#) oder [Pollen](#) verwendet. Zusätzlich kommt in der Forschung ein breites Spektrum verschiedener [Isotopenanalysen](#) zum Einsatz, deren jüngste Entwicklungen eine bis vor kurzem unerreichbare Messgenauigkeit ermöglichen. Die

Klimageschichte ist auch für die [Evolutionsgeschichte](#) von Bedeutung.

Klimaproxys und Messmethoden [\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

Zur Rekonstruktion vergangener Klimazustände gibt es eine Reihe verschiedener Untersuchungsmethoden. Bereits im 19. Jahrhundert wurde anhand von [geologischen Klimazeugen](#) wie [Trogtälern](#), [Grundmoränen](#) oder [Gletscherschliffen](#) eine lange währende Eiszeit mit großräumigen [Vergletscherungen](#) (damals oft „Weltwinter“ genannt) sowohl in Europa als auch auf anderen Kontinenten direkt nachgewiesen. Weitere [Klimaarchive](#), mit denen frühere Warmzeiten belegt werden können, sind zum Beispiel Lage und Ausdehnung urzeitlicher [Korallenriffe](#) oder die Analyse bestimmter [Sedimente und Sedimentgesteine](#), die unter tropischen Bedingungen entstanden sind.





Klickbare rekonstruierte Temperaturkurve des Phanerozoikums (zum Teil etwas vereinfacht), erstellt auf der Basis verschiedener [Proxy-Daten](#). Die Angaben für 2050 und 2100 beruhen auf dem 5. Sachstandsbericht des IPCC unter Annahme einer steigenden Kohlenstoffdioxidkonzentration nach dem [RCP8.5-Szenario](#).

Während die *Historische Klimatologie* vielfach auf schriftliche Aufzeichnungen, historische [Chroniken](#) oder [archäologische Artefakte](#) zurückgreift, verwendet die *Paläoklimatologie* klassische Nachweisverfahren wie die [Dendrochronologie](#) (Baumringanalyse), die [Palynologie](#) (Pollenuntersuchungen), [Tropfsteine](#) sowie die [Warvenchronologie](#) (auch *Bändertondatierung* genannt), die sich auf die Auswertung von Ablagerungen in Still- und Fließgewässern stützt. Im Zuge fortgeschrittener technischer Möglichkeiten werden vermehrt [Bohrkernproben](#) aus der [Tiefsee](#) und den polaren [Eisschilden](#) untersucht. So wurde 2004 in der [Antarktis](#) ein [Eisbohrkern](#) mit einem Gesamtalter von 900.000 Jahren geborgen.

In den letzten Jahrzehnten kamen in der *Paläoklimatologie* zunehmend verschiedene Nachweismethoden mittels der *Isotopenanalyse* zum Einsatz. Ein seit langem gebräuchliches Verfahren ist die Anwendung des [Kohlenstoff-Isotops](#) ^{14}C zur Altersbestimmung organischer Materialien. Allerdings deckt die ^{14}C -Methode nur einen relativ schmalen zeitlichen Bereich von 300 bis maximal 57.000 Jahren ab. Einen Zeitrahmen von mehreren Hundert Millionen Jahren umfasst hingegen die

Temperaturbestimmung mithilfe der Sauerstoff-Isotope $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, für die sich besonders fossile Korallen, [Foraminiferen](#) und Süßwassersedimente eignen.^[1] Für geologische und paläoklimatologische Untersuchungen bietet sich darüber hinaus eine Reihe von [Beryllium](#)-, [Eisen](#)-, [Chrom](#)- und [Edelgas](#)-Isotopen an. In letzter Zeit kommt die [\$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}\$ -Datierung](#) verstärkt zum Einsatz, da diese Methode auf der Grundlage des Edelgases [Argon](#) erheblich präzisere Ergebnisse als die herkömmliche [Kalium-Argon-Datierung](#) ermöglicht. Ebenfalls sehr genaue [geochronologische Daten](#) liefern [Zirkonkristalle](#) aufgrund der darin enthaltenen Spuren [radioaktiver Nuklide](#).

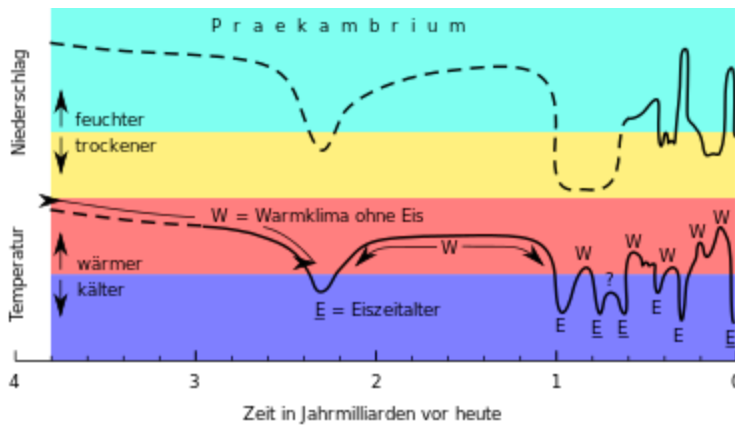
Frühe Klimageschichte[\[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten\]](#)



Liebe Leserinnen und Leser in der Schweiz. Es scheint, dass Sie Wikipedia oft nutzen; das ist grossartig. Es ist etwas unangenehm zu fragen, aber heute brauchen wir Ihre Hilfe. Wir sind keine Verkäufer. Wir sind Bibliothekare, Archivare und Informationsjunkies. Wir sind auf Spenden angewiesen, die im Durchschnitt CHF 15 betragen. Leider spendet weniger als 1% der Leserinnen und Leser tatsächlich. Wenn Sie nur CHF 5 spenden, was ungefähr dem Preis Ihres heutigen Kaffees entspricht, kann Wikipedia noch viele Jahre weiterbestehen. *Vielen Dank.*

Schließen ×





Rekonstruktion des mittleren Temperatur- und Niederschlagsverlaufs der Erde seit 3,8 Milliarden Jahren. E = Eiszeitalter, E (unterstrichen) = Eiszeitalter mit Eisbildungen an den geographischen Polen, W = eisfreies Warmklima

Die Klimageschichte beginnt mit der [Entstehung der Erde](#) vor etwa 4,6 Milliarden Jahren. Im Anfangsstadium der Erde kurz nach der Entstehung betrug die bodennahe [Temperatur](#) etwa 180 °C. Die Abkühlung dauerte sehr lange, vor 4 Milliarden Jahren unterschritt die Temperatur das erste Mal die 100-°C-Grenze. Das Klima in dieser Zeit war daher nicht nur heiß, sondern auch sehr trocken. So gab es noch keine [Meere](#), [Niederschläge](#) oder sonstiges flüssiges [Wasser](#) auf der Erde, und die Zusammensetzung der reduzierenden [Uratmosphäre](#) unterschied sich stark von der heutigen [Erdatmosphäre](#). Ungeachtet der Umweltverhältnisse kam zu diesem Zeitpunkt die [chemische Evolution](#) in Gang, bei der sich organische Moleküle bildeten, die als Bausteine der Entstehung von [Leben](#) unerlässlich waren.

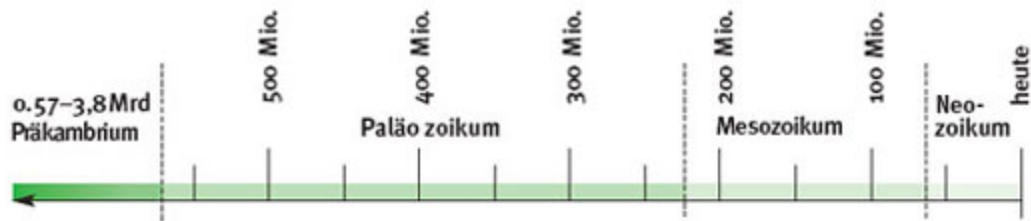
Mit der fortschreitenden Abkühlung erreichte der [Wasserdampf](#) zum ersten Mal in der Geschichte der Erde seinen [Kondensationspunkt](#), so dass sich flüssiges Wasser bilden konnte. Ohne dieses wäre die Entstehung von Leben und die nachfolgende [biologische Evolution](#) auf der Erde unmöglich

gewesen.

Nachdem das erste Wasser kondensiert war, entstand allmählich der [Wasserkreislauf](#) und damit die [Hydrosphäre](#). Die ältesten Anzeichen für [Ozeane](#) auf unserer Erde sind in [Gesteinen](#) vorhanden, die inzwischen ein Alter von 3,2 Milliarden Jahren erreicht haben.

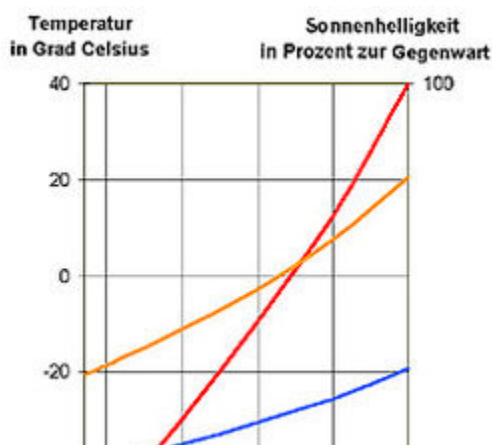
Vor 2,6 Milliarden Jahren bildete sich im Laufe der [Entwicklung der Erdatmosphäre](#) durch die Aktivität von [Cyanobakterien](#) der erste [Sauerstoff](#) in der Uratmosphäre und erreichte vor circa 2,2 Milliarden Jahren signifikante Konzentrationen. Der Wasserdampf kondensierte größtenteils und wurde als Wasser in Meeren und Seen gebunden. Mit dem Wasserdampf verschwand auch ein großer Teil des [Kohlendioxids](#) aus der Atmosphäre. Das Kohlendioxid wurde durch die Cyanobakterien verbraucht, die es im Zuge der [Photosynthese](#) als [Kohlenstoffquelle](#) nutzten. Der Kohlenstoff wurde dem normalen Kreislauf entzogen, weil die Cyanobakterien nicht von anderen Organismen verstoffwechselt wurden, sondern sich am [Meeresboden](#) absetzten, wo sie fein verteilt in den [Sedimenten](#) ablagerten oder im küstennahen, lichtdurchfluteten Flachwasserbereich als [Stromatolithe fossilisierten](#). Erst dadurch war der Aufbau einer oxidierenden Sauerstoffatmosphäre möglich, wobei über einen langen Zeitraum keine wesentlichen Konzentrationssteigerungen auftraten, da der freigesetzte Sauerstoff zunächst nur Eisenverbindungen oxidierte. Dieses Eisenoxid resultierte in großen Ablagerungen so genannter [Bändererze](#), die als ergiebige [Lagerstätten](#) erhalten blieben und intensiv abgebaut werden. Die Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre stieg weiter an, so dass damit [aerobes](#) Leben auf der Erde möglich wurde. Die Veränderung der Konzentration der

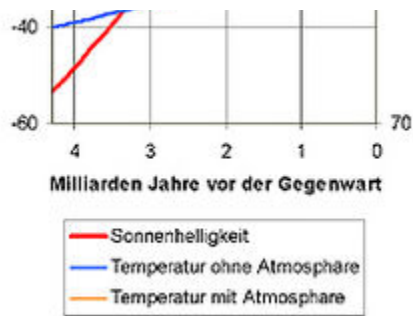
Klimagase und ihrer Zusammensetzung veränderte zudem den [Strahlungshaushalt](#) der Erde und brachte den [Treibhauseffekt](#) in Gang, der die Erde seitdem erwärmt.



Dieser sehr frühe Teil der Klimageschichte wird in vier Teile aufgeteilt. Das [Präkambrium](#) beschreibt dabei den größten Zeitraum von etwa 3,8 bis 0,57 Milliarden Jahren. Er ist bisher noch relativ schlecht rekonstruierbar, weil die Gesteine aus dieser Zeit weitreichenden Veränderungen unterlagen, so dass es nur wenige Daten aus diesem [Erdzeitalter](#) gibt, die für die Rekonstruktion des Klimas verwendet werden können. Trotzdem ist der frühe Teil der Klimageschichte besonders interessant, da in ihm die ersten [Eiszeitalter](#) lagen. Das erste von ihnen liegt etwa 2,3 Milliarden Jahre zurück. Etwa ab dem Ende des Präkambriums ist es heute möglich, das Klima genügend zu rekonstruieren und zu verstehen. Dieses gelingt vor allem durch die Analyse von Sedimenten.

Methanhypothese [\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)





Veränderung der Leuchtkraft der Sonne und der daraus resultierenden globalen, mittleren Oberflächen-Temperatur ohne und mit heutiger Atmosphäre aufgrund von Modellrechnungen

Am Beginn der Erdgeschichte betrug die [Leuchtkraft](#) der [Sonne](#) nur 70 Prozent des heutigen Wertes. Das hätte nicht ausgereicht, um eine globale Vereisung zu verhindern. Geologische Hinweise sprechen im Gegensatz dazu eher für eine höhere Erdtemperatur als im Mittel der letzten 100.000 Jahre. Dieser Widerspruch wird das [Paradoxon der schwachen jungen Sonne](#) genannt.

Zur Erklärung der Erwärmung wird in der Wissenschaft der atmosphärische [Treibhauseffekt](#) diskutiert:

- [Ammoniak](#) ist zwar eines der wirksamsten [Treibhausgase](#), es wird aber in der Atmosphäre schnell durch [UV](#)-Strahlen zerstört, die vor 2,3 Milliarden Jahren aufgrund einer fehlenden [Ozonschicht](#) ungehindert die Erdoberfläche erreichen konnten.
- [Kohlenstoffdioxid](#) – ebenfalls ein Treibhausgas – gelangte durch den [Vulkanismus](#) in die Erdatmosphäre. In Abwesenheit von Sauerstoff reagiert CO_2 mit [Eisenoxid](#) zu [Siderit](#) ([Eisen\(II\)-carbonat](#)). Diese Reaktion würde bei einer Konzentration von 3040 ml/m^3 einsetzen. In 2,8 bis 2,2 Milliarden Jahre alten Gesteinsschichten ist jedoch kein Siderit zu finden. Somit muss die CO_2 -Konzentration damals relativ niedrig gewesen sein und hätte somit eine globale Vereisung nicht verhindern können.

- Die favorisierte *Methanhypothese* besagt, dass im Zeitraum vor 2,3 Milliarden Jahren (Beginn der sauerstoffbildenden [Photosynthese](#)) das Treibhausgas [Methan](#) die notwendige Erwärmung verursachte, gebildet durch [anaerobe Archaeobakterien](#).

Ohne eine [oxidierende](#) Erdatmosphäre, die Methan zu Kohlenstoffdioxid und [Kohlenstoffmonoxid](#) verwandeln würde, könnte die Verweildauer des Methans in der Erdatmosphäre 10.000 Jahre betragen, während sie heute in etwa bei 10 Jahren liegt. Viele [Methanbildner](#) benötigen [Wasserstoffgas](#) und CO₂, die von [Vulkanen](#) ausgestoßen werden, zum Aufbau ihrer Strukturen und als Energiequelle. Diese Organismen bevorzugen heute eine Umgebungstemperatur von über 40 °C. Je wärmer die Erde durch das Treibhausgas Methan wurde, umso besser konnten sie sich vermehren, und umso mehr Methan wurde gebildet, sodass die globale Erwärmung Werte hätte erreichen müssen, bei denen höheres Leben nicht möglich gewesen wäre. Da Methan durch Sonnenlicht zu länger-kettigen [Kohlenwasserstoffen](#) reagiert, die sich an Staubpartikel in der Luft anlagern, entstand in großer Höhe ein [Dunstschleier](#), der die weitere Erwärmung verhinderte.

Dass die Atmosphäre zu dieser Zeit weitgehend sauerstofffrei gewesen sein muss, beweisen [Sedimente](#), die älter als etwa 2,2 Milliarden Jahre sind. Sie enthalten große Mengen an zweiwertigem Eisen, das nur in Abwesenheit von Sauerstoff entstehen kann. In jüngeren Gesteinen hingegen ist fast ausnahmslos das dreiwertige Eisenoxid [Hämatit](#) zu finden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Sauerstoff – offenbar gebildet durch [Photosynthese](#) – in zunehmendem Umfang in die Atmosphäre gelangte. Da für die Methanbildner und andere anaerobe

Organismen Sauerstoff giftig ist, starben sie entweder aus oder besiedelten die sauerstofffreien [ökologischen Nischen](#) am Boden der Tiefsee (siehe auch [Kohlenstoffzyklus](#)). Das abrupte Verschwinden der meisten Methanbildner und die Oxidation des Methans durch Sauerstoff führte zu einer Abschwächung des Treibhauseffekts und in der Folge zu einer lange währenden Eiszeit.

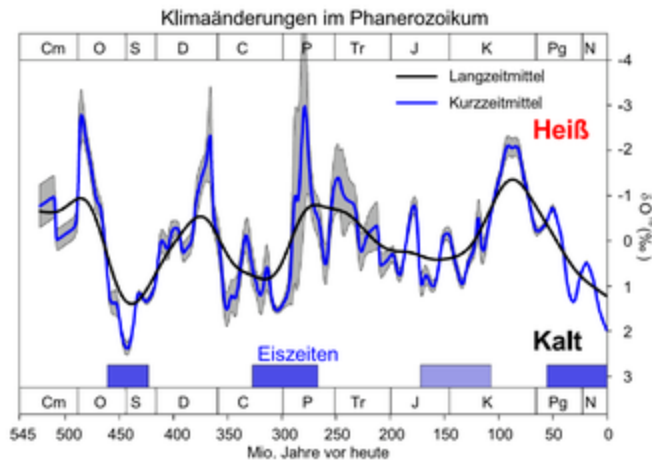
Eiszeitalter[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Ein Eiszeitalter ist eine Epoche, in der es auf der Erde [vereiste Pole](#) gab beziehungsweise gibt. Die gegenwärtige Vereisung beider Polkappen bedeutet, dass sich unsere Erde klimatisch derzeit in einem Eiszeitalter befindet. Während des größten Teils der Klimageschichte war die Erde nahezu eisfrei ([Warmklima](#)). Als Ursache für die periodische Wiederkehr von Kalt- und Warmzeiten werden stets, neben anderen Ursachen, die [Milanković-Zyklen](#) genannt.

Das erste überlieferte Eiszeitalter, das etwa vor 2,3 Milliarden Jahren begann und etwa 300 Millionen Jahre anhielt, war das „[Archaische Eiszeitalter](#)“, das wahrscheinlich durch die [große Sauerstoffkatastrophe](#) ausgelöst wurde. Regional hat dieses Eiszeitalter andere Namen, beispielsweise wird es in [Nordamerika](#) „Huronische Eiszeit“ genannt, nach dem [Huronsee](#), in dessen Gesteinsschichten zahlreiche Hinweise darauf zu finden sind.

Das zweite Eiszeitalter in der Erdgeschichte ließ relativ lange auf sich warten. Erst in 950 Millionen Jahre alten Gesteinsschichten, also über 1 Milliarde Jahre später, lassen sich Hinweise darauf finden, dass sich erneut Eis auf der Erde bildete. Dieses

Eiszeitalter trägt den Namen „[Algonkisches Eiszeitalter](#)“ oder auch „Griesjö-Vereisung“. Es gibt bisher nur in [Europa](#) Hinweise auf dieses Eiszeitalter durch Spuren von Eisbewegungen in den [Gesteinen](#). Daraus wird abgeleitet, dass nur ein im Gebiet des heutigen Europa liegender [Pol](#) der Erde mit Eis bedeckt war.



Rekonstruktion des Temperaturverlaufs während der letzten 545 Millionen Jahre anhand der Sauerstoff-Isotope $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Die nächsten beiden Eiszeitalter folgten zwischen 750 und 620 Millionen Jahren nach einer Warmzeit. Sie traten mit relativ kurzem Abstand auf, beide Erdhalbkugeln waren vereist. Man bezeichnet die Eiszeitalter als „[Sturtische Vereisung](#)“, „[Marinoische Vereisung](#)“ und „[Varanger-Vereisung](#)“, zusammen als „[Eokambrisches Eiszeitalter](#)“. Hinweise darauf, dass in dieser Zeit der gesamte Erdball bis zum [Äquator](#) von Eis bedeckt war, werden unter der Bezeichnung [Schneeball Erde](#) diskutiert.

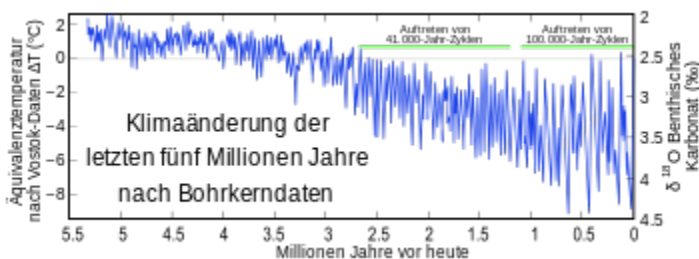
Das darauf folgende „[Silur-Ordovizisches Eiszeitalter](#)“ begann vor 440 Millionen Jahren. Dieses wahrscheinlich nur recht schwache Eiszeitalter beschränkte sich auf das Gebiet der heutigen [Sahara](#) und wird daher auch „Sahara-Vereisung“ genannt. Von einigen Wissenschaftlern wird eine Verbreitung bis nach [Südamerika](#) und

[Südafrika](#) vertreten.

Die beiden folgenden Eiszeitalter waren wieder stärker ausgeprägt. Vor 280 Millionen Jahren fand das „[Permokarbonische Eiszeitalter](#)“ statt, das auch als „Gondwana-Vereisung“ bekannt ist.

Das letzte Eiszeitalter begann vor 2,6 Millionen Jahren und hält bis heute an. In diesem Zeitraum fällt die Entwicklungsgeschichte des Menschen. Es wird „[Quartäres Eiszeitalter](#)“ genannt und ist mit Abstand am besten erforscht, weil die Zeugnisse der Vereisungen in vielen Gebieten der Erde noch gut erhalten sind. Zu dieser jüngsten Periode der Erdgeschichte lässt sich in verschiedenen [Klimaarchiven](#) eine Fülle von Daten über das Klima finden. Neben sehr kalten Phasen, den [Kaltzeiten](#) (Glaziale), in denen weite Teile Antarktikas, Europas, Asiens, Süd- und Nordamerikas vergletschert waren, gab es auch Warmzeiten ([Interglaziale](#)), in denen das Klima ungefähr dem heutigen entsprach. Das bis heute andauernde [Holozän](#), das etwa 9620 v. Chr. begann, ist ein solches Interglazial.

Das aktuelle Eiszeitalter [[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

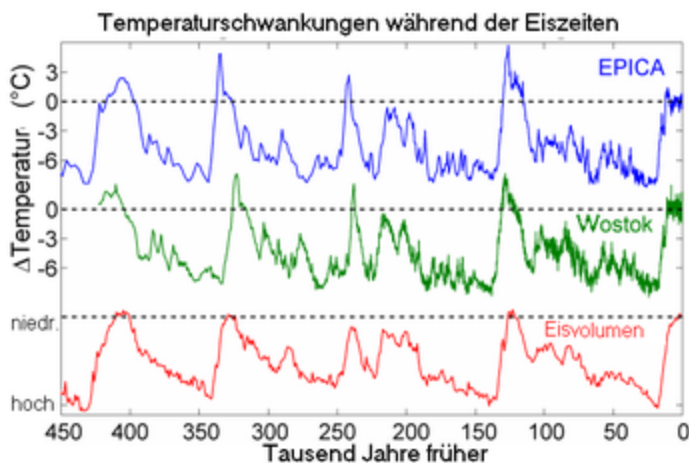


Rekonstruktion des mittleren Temperaturverlaufs während der letzten fünf Millionen Jahre

Vor etwa 2,6 Millionen Jahren begann das jüngste Eiszeitalter, das

[Quartär](#), das bis heute andauert. Während des [Tertiärs](#) war die [Temperatur](#) allmählich gesunken, so dass die Antarktis bereits seit dem [Oligozän](#) vor rund 30 Millionen Jahren mit einer Eiskappe bedeckt war. Vor etwa 3,2 Millionen Jahren, so belegen es zumindest Tiefseesedimente, fiel die Temperatur noch einmal deutlich ab. Im [Gelasium](#) bildete sich mit einiger Verzögerung am Nordpol eine Eiskappe, und die bis heute andauernden Temperaturschwankungen begannen.

Im Zeitraum von 3,2 bis 1,6 Millionen Jahren konnte eine Zykluszeit von 41.000 Jahren für die Temperaturschwankungen ermittelt werden. Im Temperaturverlauf der letzten 2,6 Millionen Jahre, also innerhalb des [Pleistozäns](#), treten die beobachteten Temperaturschwankungen in [Zyklen](#) von etwa 100.000 Jahren auf. Bei den Temperaturen ist dabei der Bezug zu beachten: Gemessen an der Klimageschichte der letzten 100 Millionen Jahre ist es derzeit kalt, da wir uns im quartären Eiszeitalter bewegen. Innerhalb dieses Eiszeitalters ist es aber derzeit relativ warm, weil wir uns seit etwa 11.625 Jahren in einer Warmzeit des Eiszeitalters befinden, dem Holozän.



Rekonstruktion des Temperaturverlaufs während der *Quartären Eiszeit* anhand verschiedener Eisbohrkerne: [EPICA](#) (European

Project for Ice Coring in Antarctica) bzw. [Wostok](#)

Allein in den letzten 850.000 Jahren gab es eine Vielzahl von Warm- und Kaltzeiten. Nach Untersuchungen von [Sauerstoff-Isotopen](#) an [Meeressedimenten](#) ereigneten sich in dieser Zeit mindestens neun Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten.^[2] Die Eisvorstöße und Rückzüge haben dabei an Land einen komplizierten Flickenteppich von Ablagerungen hinterlassen. In [Norddeutschland](#) werden heute folgende Abschnitte unterschieden, die zum Teil mehrere Kalt- und Warmzeiten umfassen:^[3]

- ab etwa 850.000 Jahren: [Cromer-Komplex](#)
- ab etwa 400.000 Jahren: [Elster-Kaltzeit](#)
- ab etwa 320.000 Jahren: [Holstein-Warmzeit](#)
- ab etwa 300.000 Jahren: [Saale-Kaltzeit](#)
- ab etwa 126.000 Jahren: [Eem-Warmzeit](#)
- ab etwa 115.000 Jahren: [Letzte Kaltzeit](#) (regional im Norden [Weichsel-Kaltzeit](#), im Süden [Würm-Kaltzeit](#) benannt)
- seit etwa 11.625 Jahren: rezente Warmzeit oder [Holozän](#)

Dabei wurden zeitlich übereinstimmende Warm- und Kaltzeiten in den betroffenen Regionen unterschiedlich benannt. So wird die letzte Kaltzeit im Bereich der [Alpen](#) „Würm-Kaltzeit“ genannt, in Nordeuropa „Weichsel-Kaltzeit“, [England](#) „Devensian“, in [Russland](#) „Waldai“ und in [Nordamerika](#) „Wisconsin“. Darüber hinaus lassen die gebräuchlichen Namen sich nicht so ohne weiteres gleichsetzen, da sich mit zunehmendem Kenntnisstand gezeigt hat, dass selbst die Phasen der letzten Kaltzeit einander nicht

immer entsprechen und dass dies für die älteren Warm- und Kaltzeiten fast unmöglich ist.

Die unterschiedlichen Temperaturen innerhalb der Warm- und Kaltzeiten werden als „[Stadiale](#)“ für relativ kalte Zeiten und als „[Interstadiale](#)“ für relativ warme Zeiten bezeichnet. Allein in der Würm-Kaltzeit gab es drei Stadiale, etwa vor 60.000, 40.000 und 18.000 Jahren. Damals wich die Temperatur zwar nur um etwa vier bis fünf Kelvin nach unten von unserer heutigen Erdmitteltemperatur ab, was jedoch dazu führte, dass sich etwa dreimal so viel Eis wie heute bilden konnte. Vor 18.000 Jahren hatte das zur Auswirkung, dass der [Meeresspiegel](#) um etwa 135 Meter niedriger lag als heute. Der [Golfstrom](#) wurde dadurch stark abgeschwächt, und die [Nordsee](#) verschwand fast ganz. Nur in den [Tropen](#) war das Klima ähnlich. Die Januar­mitteltemperatur Deutschlands lag damals etwa bei -20 °C , heute bei $0,3\text{ °C}$. Auf die [Tierwelt](#) hatte das große Auswirkungen. In Norddeutschland war zu dieser Zeit beispielsweise der [Eisbär](#) heimisch.

Das zeigt, dass selbst ein nach heutigen Maßstäben überaus strenger [Winter](#) nicht vergleichbar mit einem Winter in einer Kaltzeit ist. Der Umschwung der Weichsel-Kaltzeit zur heutigen Warmzeit wird von den Wissenschaftlern als eine abrupte [Klimaveränderung](#) gesehen, obwohl er sich im Laufe mehrerer tausend Jahre (vor 15.000 bis vor 7000 Jahren) vollzog. Der Wechsel zwischen der Kalt- und der Warmzeit wird auf 11.000 Jahre vor heute datiert.

Dansgaard-Oeschger-Ereignisse[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

Dansgaard-Oeschger-Ereignisse (benannt nach dem

Paläoklimatologen [Willi Dansgaard](#) und dem Physiker [Hans Oeschger](#)) werden seit ihrer Entdeckung in den 1980er Jahren erforscht und bezeichnen extrem rasche Temperaturerhöhungen im Bereich des Nordatlantiks während der letzten Eiszeit. Dabei kam es zu einem plötzlichen Anstieg der Temperaturen von 6 bis 10 °C innerhalb eines Jahrzehnts. Diese Warmphasen flauten nur langsam ab und dauerten oft mehrere Jahrhunderte. Aus der [Würm](#)- beziehungsweise der [Weichsel-Kaltzeit](#), die vor 115.000 Jahren begann und vor knapp 12.000 Jahren endete, lassen sich in [Klimaarchiven](#) 26 *Dansgaard-Oeschger-Ereignisse* nachweisen, vor allem in grönländischen Eisbohrkernen sowie in den Tiefseeablagerungen des Atlantiks. Nach dem Übergang in das *Holozän* traten diese abrupten Klimaschwankungen nicht mehr auf. Allerdings gibt es Hinweise, dass ähnliche Temperatursprünge auch während der [Eem-Warmzeit](#) vor 126.000 bis 115.000 Jahren stattfanden.

Beitrag der Korallenriffe zur letzten

Temperaturerhöhung[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Im Zeitraum von vor 16.000 bis 10.000 Jahren vor unserer Zeit

- stieg die Temperatur in der [Antarktis](#) von -8 °C auf etwas unter 0 °C an;
- stieg der Kohlenstoffdioxidgehalt der Erdatmosphäre von 180 ml/m^3 ([ppm](#)) auf 260 ml/m^3 , wobei ein Anteil dieser Erhöhung auf die mit steigender Temperatur geringere [Löslichkeit](#) von [Kohlenstoffdioxid](#) in den Meeren zurückgeht;
- stieg der Meeresspiegel um 100 Meter.

Vor ungefähr 10.000 Jahren waren auch die Regionen überflutet,

in denen [Korallenriffe](#) existieren konnten. Diese benötigen eine relativ hohe Wassertemperatur und flaches, lichtdurchflutetes Wasser. Die [Korallen](#) hatten in der Zeit von 9000 bis 6000 Jahren vor heute ihre Blütezeit. Ihre Wachstumsgeschwindigkeit und der weitere Anstieg des Meeresspiegels um 20 Meter hielten sich gerade die Waage. Heute hat die Wachstumsgeschwindigkeit der Korallenriffe stark abgenommen, weil der Meeresspiegel kaum noch steigt. Da bei der Ausfällung des Kalkgehäuses der Korallen Kohlenstoffdioxid frei wird (siehe [Kohlenstoffzyklus](#)), wurde der Kohlendioxidgehalt in den vergangenen 14.000 Jahren nach Schätzungen von Wissenschaftlern durch die Korallenriffe um etwa 50 ml/m³ erhöht. Es wird vermutet, dass kalkbildendes [Plankton](#) einen ebenso hohen Anteil an der CO₂-Erhöhung der Atmosphäre hat wie die Korallen.

El Niño und La Niña[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

Als *El Niño* oder genauer [El Niño-Southern Oscillation](#) (ENSO) wird das Auftreten veränderter Strömungsmuster im [ozeanographisch-meteorologischen](#) System des äquatorialen [Pazifiks](#) bezeichnet. Ursache ist eine starke Wechselwirkung zwischen den [Passatwinden](#) und dem Ozean. Normalerweise treibt der Passat das Wasser des Pazifiks entlang des Äquators nach Westen in Richtung Indonesien. Da sich das Wasser unter dem Einfluss der tropischen Sonneneinstrahlung aufheizt, ist es im westlichen Pazifik besonders warm. Im Osten hingegen, vor der Westküste Südamerikas, wird das abtransportierte Oberflächenwasser durch kälteres Tiefenwasser ersetzt. Aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen kühlem Wasser im Osten und warmem Wasser im Westen entsteht nicht nur ein Antrieb für die

Passatwinde, sondern auch ein Rückkopplungsmechanismus, durch den sich das System in die eine oder andere Richtung aufschaukeln kann. Wenn der Passat zusammenbricht, strömt das warme Wasser zurück nach Osten. Dort entsteht dann eine Wärmeanomalie in Form eines El Niño.

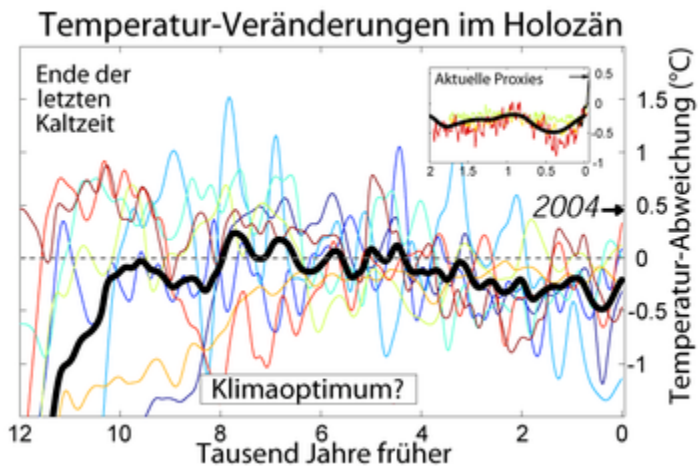
Im Unterschied zu *El Niño* ist [La Niña](#) eine außergewöhnlich kalte Strömung im äquatorialen Pazifik, wodurch sich besonders in Südostasien ausgedehnte Tiefdruckgebiete bilden können. In diesem Fall weht der Passat stark und lang anhaltend. Als Folge davon kühlt sich der östliche Pazifik weiter ab. In Indonesien und den umliegenden Regionen fällt dann ergiebiger Regen, während gleichzeitig in einigen südamerikanischen Gebieten extreme Trockenheit herrscht.

Auf drei Vierteln der Erde wird das Wettergeschehen von einem starken *El Niño* signifikant beeinflusst. So treten zum Beispiel an der gesamten südamerikanischen Pazifikküste und zum Teil auch an der nordamerikanischen Westküste starke Regenfälle und damit verbundenen Überschwemmungen auf. Im Gegensatz dazu kommt es in Südostasien und Australien zu längeren Dürreperioden mit Buschfeuern und Waldbränden.

Günstige Bedingungen für das Auftreten von *El Niños* gab es innerhalb der letzten drei Jahrhunderte in Abständen von etwa zwei bis acht Jahren, wobei die meisten nur schwach ausgeprägt waren. Allerdings existieren Hinweise auf sehr starke *El Niños* aus dem frühen [Holozän](#) vor etwa 11.500 Jahren. Im 20. Jahrhundert wurden größere El-Niño-Ereignisse in den Jahren 1925/1926, 1972/1973 und 1982/1984 registriert. Der *El Niño* von 1997/1998 trug maßgeblich dazu bei, dass 1998 zum bis dahin global wärmsten Jahr seit Beginn der systematischen

Temperaturaufzeichnungen wurde. Ein verwandtes Klimaphänomen gibt es im [Atlantik](#) in Form der [Nordatlantischen Oszillation](#).

Die aktuelle Warmzeit[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]



Rekonstruktion des Temperaturverlaufs der Erde während der letzten 12.000 Jahre

Auch in der aktuellen Warmzeit, dem Holozän, gibt es noch viele relative Klimaveränderungen. In Annäherung an die Jetzt-Zeit gelingt die Rekonstruktion des Klimas immer detaillierter und vielfältiger. Doch sind die ältesten drei Viertel des Holozäns noch weitgehend unerforscht. Erst mit der Entwicklung der ersten [Hochkulturen](#) wird die Beobachtung genauer. Forschungen in der [Sahara](#) und Seebodenuntersuchungen im [Mittelmeer](#) ergaben, dass in [Nordafrika](#) vor etwa 10.000 Jahren nicht die heutige [Wüste](#) vorherrschend war, sondern eine [Grassavanne](#), die von einer Vielzahl von Tieren bevölkert war und Menschen Lebensraum bot. Davon zeugen fossile Pflanzen ebenso wie [Fels-](#) und [Höhlenmalereien](#). Eine [These](#) geht von einer zyklischen Begrünung der Wüstengebiete Nordafrikas aus, deren Zykluszeit

etwa 22.000 Jahre beträgt.^[4] Demzufolge ist eine stetige langfristige Änderung des Klimas Teil eines natürlichen Zyklus, in dem es „Gewinner und Verlierer“ gibt.

Der Wechsel von der letzten Kaltzeit zur aktuellen Warmzeit verlief relativ schnell, dauerte aber trotzdem mehrere tausend Jahre.

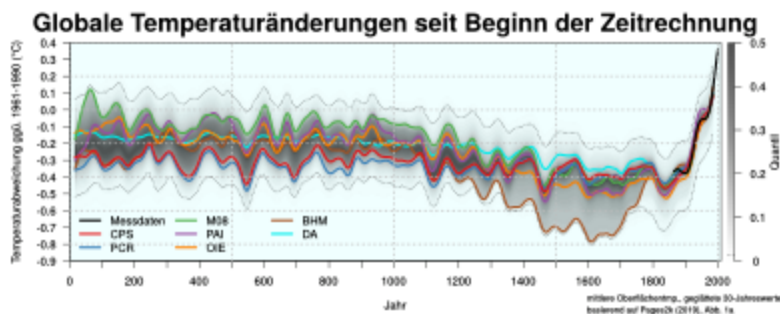
Dies hing vor allem damit zusammen, dass die großen [Eisschilde](#) nicht so schnell schmelzen konnten. Der skandinavische Eisschild war etwa vor 7000 Jahren verschwunden und damit im Vergleich zu den Schilden in Nordamerika und [Nordasien](#) relativ schnell abgeschmolzen. Der [Laurentische Eisschild](#) in Nordamerika war erst vor 4000 Jahren völlig aufgelöst. Ein Abschmelzen des heutigen Antarktischen Eisschildes würde mindestens 15.000 Jahre dauern.

Vor etwa 8000 bis 4000 Jahren hatte die heutige Warmzeit einen Höhepunkt überschritten, so dass eine langsame Entwicklung zur nächsten Kaltzeit vermutet werden kann. Allerdings ist diese Bewegung so langsam, dass die Temperatur über eine Zeit von tausend Jahren nur rund 0,1 °C abnimmt. Diese geringe Veränderung wird jedoch von so vielen anderen Einflüssen auf das Klima überdeckt, dass sie praktisch nur noch über einen sehr langen Zeitraum im Mittel erkannt werden kann. Auch diese überlagernden Veränderungen haben im Durchschnitt auf einer großen Fläche, etwa über die Südhemisphäre, nicht mehr als etwa 1 °C Temperaturanstieg oder -abstieg zu verzeichnen.

Das „holozäne Temperatur-Optimum“ (oder „[Atlantikum](#)“) dauerte zumindest auf der Nordhalbkugel etwa von 7000 v. Chr. bis 4000 v. Chr., mit markanten Unterbrechungen zwischen 6500 und 6100 v. Chr. (das sogenannte [8.2ka event](#) durch das Einströmen

des nordamerikanischen Eisstausees [Agassizsee](#) in den Atlantik) sowie um etwa 5200 v. Chr. aus bisher ungeklärter Ursache.

So gab es im Verlauf des Holozäns immer wieder „kleinere“ Klimaschwankungen ([Misox-Schwankung](#), [Piora-Schwankung](#)), die sich spürbar auf die Vegetation und damit auf die Fauna und den Menschen auswirkten. In diesem Zusammenhang werden die beiden Begriffe „[Pluvial](#)“ (relativ niederschlagsreiche Phase) und „[Interpluvial](#)“ (relativ trockene Phase) verwendet. Dieses ist notwendig, da in der Geschichte die Temperatur- und Niederschlagsschwankungen nicht immer parallel verliefen.



Die Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur während der letzten 2000 Jahre, Rekonstruktion und, seit dem 19.

Jahrhundert, Messungen.^[5]

Für die Klimageschichte in historischer Zeit, vor allem die Europas und des Nordatlantikraums, wurden verschiedene [Periodisierungen](#) vorgeschlagen. Eine einflussreiche Einteilung, die sich primär auf Europa bezieht, stammt von [Schönwiese](#), der auf ältere Arbeiten, zum Beispiel von [Flohn](#) und [Lamb](#), zurückgriff.

^{[6][7]} Ihr zufolge gab es in der Zeit zwischen etwa 100 v. Chr. und 500 n. Chr. das „[Optimum der Römerzeit](#)“. Als diese Klimaepoche langsam zu Ende ging und sich das Klima abkühlte („[Pessimum der Völkerwanderungszeit](#)“), kam die Zeit der großen Völkerwanderungen (etwa um 370 bis 570 n. Chr.). Weil es viele

Parallelen zwischen Klima- und Menschengeschichte gibt, kann ein Zusammenhang nicht ausgeschlossen werden. Nach dieser relativ „schlechten“ Zeit für die Menschheit entwickelte sich wieder eine wärmere Epoche. Ab etwa 800 n. Chr. folgte die [Mittelalterliche Warmzeit](#). Sie war in weiten Teilen Europas durch wirtschaftlichen wie demografischen Aufschwung gekennzeichnet und ging mit der kulturellen Blüte des Hochmittelalters – Stichwort: Bau von Kathedralen und anderen imposanten Bauwerken – einher.^[8] Anfangs hielt sich der Niederschlag noch in Grenzen, was sich gegen Ende dieser Phase änderte, als die Niederschlagsraten stark anstiegen. Aus dieser Zeit stammen viele deutsche Ortsnamen, die auf Weinanbau hinweisen, obwohl zwischenzeitlich der Weinanbau dort nicht mehr möglich war.

Auf das [Optimum](#) des 11.–14. Jahrhunderts folgte wieder eine Klimawende mit niedrigeren Temperaturen beginnend etwa im 15. Jh. Das Klima der Nördlichen Hemisphäre war im 17. Jh. weniger als 1 °C kühler im Vergleich zur Durchschnittstemperatur des 20. Jahrhunderts, mit einer lokal stärkeren Abkühlung in Regionen nahe dem Nordatlantik.^[9] Für das globale Klima wird eine Abkühlung von rund 0,2 °C gegenüber dem Mittelalterlichen Optimum vermutet.^[10] Obwohl der Begriff Eiszeit hierfür eine Übertreibung darstellt, wird diese Zeit die [Kleine Eiszeit](#) genannt. Als weiteres Beispiel für den Zusammenhang zwischen menschlicher Kulturentwicklung und Klimageschichte werden oftmals die [Wikinger](#) genannt. 982 n. Chr. ließen sie sich das erste Mal auf [Grönland](#) nieder und waren über mehrere Jahrhunderte dort ansässig. Durch die zunehmende Abkühlung im nordatlantischen Raum nahm die Besiedelung der Insel ein mehr oder weniger jähes Ende. Bis vor kurzem wurde angenommen,

dass neben wirtschaftlichen und soziologischen Gründen die schlechter werdenden klimatischen Bedingungen wesentlich dazu beitrugen, dass um 1500 die letzte normannische Siedlung auf Grönland aufgegeben wurde.^[11] Allerdings kommen aktuelle Untersuchungen zu konträren Ergebnissen. So hatte die Mittelalterliche Warmzeit im Bereich von Grönland praktisch keine Auswirkungen auf das dortige Klima, und die grönländischen Gletscher erreichten zwischen den Jahren 975 und 1275 fast ihre maximale Ausdehnung. Eine über Jahrhunderte dauernde Phase milder Temperaturen wäre nach der neuen Datenlage demnach ausgeschlossen.^[12]

Die der Mittelalterlichen Warmzeit folgende Phase tieferer Durchschnittstemperaturen und vieler extremer Winter ([Kleine Eiszeit](#)) wird von Historikern als ein Faktor in der von vielfachen politischen, ökonomischen und sozialen Erschütterungen erfassten Epoche der frühen Neuzeit gesehen, für den der Begriff „Krise des 17. Jahrhunderts“ geprägt wurde. Die ausgeprägt kalten Winter beeinflussten indes auch die kulturelle Entwicklung Europas: Bis etwa 1500 waren Winterbilder in der europäischen Kunst eine Rarität – durch die Gemälde eines [Hendrick Avercamp](#) und eines [Pieter Bruegel der Ältere](#) (typisch ist sein [Die Jäger im Schnee](#) von ca. 1565) – wurden sie ein Genre in der bildenden Kunst vor allem West- und Nordeuropas.^[13]

Klare Belege für Erwärmungs- oder Abkühlungsphasen, die mehrere Jahrzehnte lang weltweit gleichzeitig stattfanden, gibt es nicht für die Zeit vom Jahr 1 bis vor Beginn der Industrialisierung.^[14]

Die globale Erwärmung und die Zukunft des Klimas[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)



Globale Jahresmitteltemperaturen der letzten 125 Jahre auf der Erdoberfläche relativ zum Mittelwert im Zeitraum 1951–1980. ^[15]

Die aktuellen Erkenntnisse der Klimaforschung besagen, dass die [anthropogenen Treibhausgasemissionen](#) seit Beginn der [Industrialisierung](#) den natürlichen Treibhauseffekt wesentlich verstärken und damit einen zunehmenden Einfluss auf das Klima ausüben. Die globalen Durchschnittstemperaturen haben im Lauf des 20. Jahrhunderts um $0,74\text{ °C} \pm 0,18\text{ °C}$ zugenommen. Am ausgeprägtesten ist die Erwärmung von 1976 bis heute. Nach den Emissionsszenarien des [Intergovernmental Panel on Climate Change](#) (IPCC) im aktuellen [Fünften Sachstandsbericht](#) könnte sich die globale Durchschnittstemperatur im ungünstigsten Fall bis Ende des 21. Jahrhunderts um mehr als 4 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert erhöhen. Diese Erwärmung ist von zum Teil drastischen [Folgen](#) begleitet, die sich mit zunehmender Erwärmung weiter verstärken können. ^{[16][17]}

Siehe auch[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

- Klimageschichtlich relevante Fachgebiete:
- [Paläoklimatologie](#)

- [Historische Klimatologie](#)
- [Forschungsgeschichte des Klimawandels](#)
- Klimageschichtliche Epochen:
- [Mittelalterliche Warmzeit](#)
- [Kleine Eiszeit](#)
- [Globale Erwärmung](#)
- Klimageschichtliche Anomalien in historischer Zeit:
- [Wetteranomalie von 535/536](#)
- [Extremer Winter 1783/84](#)
- [Jahr ohne Sommer](#) 1816

Literatur[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Deutschsprachige Bücher mit Schwerpunkt

Paläoklimatologie[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

- Wolfgang Oschmann: *Evolution der Erde. Geschichte des Lebens und der Erde*. utb. basics. Haupt Verlag, Bern 2016, UTB-Band-Nr. 4401. [ISBN 978-3-8252-4401-9](#).
- [Peter Ward](#), [Joe Kirschvink](#): *Eine neue Geschichte des Lebens. Wie Katastrophen den Lauf der Evolution bestimmt haben*. Deutsche Verlags Anstalt, München 2016. [ISBN 978-3-421-04661-1](#).
- Jens Boenigk, Sabina Wodniok: *Biodiversität und Erdgeschichte*. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2014 (Springer Spektrum), DOI: [10.1007/978-3-642-55389-9](#), [ISBN 978-3-642-55388-2](#).
- Karl-Heinz Ludwig: *Eine kurze Geschichte des Klimas. Von der*

Entstehung der Erde bis heute, Herbst 2006, [ISBN 3-406-54746-X](#).

- Monika Huch, Günter Warnecke, Klaus Germann (Hrsg.): *Klimazeugnisse der Erdgeschichte. Perspektiven für die Zukunft*. Mit Beiträgen von Wolfgang H. Berger, Arthur Block, Werner von Bloh, Werner Buggisch, Klaus Germann, Monika Huch, Gerhard Petschel-Held, Hans-Joachim Schellhuber, Torsten Schwarz, Hansjörg Streif, Otto H. Wallner, Günter Warnecke, Gerold Wefer. Springer, Berlin/Heidelberg 2001, [ISBN 3-540-67421-7](#).
- József Pálffy: *Katastrophen der Erdgeschichte. Globales Artensterben?* Schweizerbart, Stuttgart 2005, [ISBN 3-510-65211-8](#).
- Christoph Buchal, Christian-Dietrich Schönwiese: *Klima. Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten*. Hrsg.: Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, 2. Auflage. Hanau 2012, [ISBN 978-3-89336-589-0](#).
- Frank Sirocko: *Geschichte des Klimas*. Konrad Theiss Verlag, Stuttgart 2013, [ISBN 978-3-8062-2711-6](#).

Deutschsprachige Bücher mit Schwerpunkt Historische Klimatologie[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

- Heinz Wanner: *Klima und Mensch. Eine 12.000-jährige Geschichte*. Haupt Verlag, Bern. 1. Aufl. 2016. [ISBN 978-3-258-07879-3](#)
- Elmar Buchner/Norbert Buchner: *Klima und Kulturen. Die Geschichte von Paradies und Sintflut*. Verlag Bernhard Albert Greiner, Remshalden 2005. [ISBN 3-935383-84-3](#)

- [Rüdiger Glaser](#): *Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Mit Prognosen für das 21. Jahrhundert*, 2. Aufl. Darmstadt 2008. [ISBN 978-3-89678-604-3](#)
- Christian Pfister: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995)*. Paul Haupt, Bern 1999. [ISBN 3-258-05696-X](#)
- [Ronald D. Gerste](#): *Wie das Wetter Geschichte macht: Katastrophen und Klimawandel von der Antike bis heute*. Klett-Cotta Verlag, Stuttgart 2015. [ISBN 978-3-608-94922-3](#)

Englischsprachige Bücher[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

- Raymond S. Bradley: *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press (Elsevier Inc.) Oxford, Amsterdam, Waltham, San Diego, Third Edition 2015, [ISBN 978-0-12-386913-5](#).
- Thomas N. Cronin: *Paleoclimates: understanding climate change past and present*. Columbia University Press, New York 2010, [ISBN 978-0-231-14494-0](#).
- Raymond S. Bradley, Norman Law: *Climate change and society*; Nelson Thornes; Cheltenham 2001
- Thomas J. Crowley, G. R. North, *Paleoclimatology*, Oxford University Press, New York, 1991
- William F. Ruddiman: *Earth's climate. Past and Future*. W.H. Freeman and Sons; New York 2001

Weblinks[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

- [Historical Climatology](#)

- [Klimageschichte des Mittelmeers](#) (PDF-Datei; 264 kB)
- [Das Klima der Vergangenheit](#) (PDF-Datei; 269 kB) (UmweltWissen – Bayerisches Landesamt für Umwelt)
- [DFG Science TV: „Polares Klimaarchiv“ – Bohren in der Arktis: Klimaforschung für die Zukunft](#) – Video-Serie zur Klimaforschung in der Arktis

Einzelnachweise[\[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten\]](#)

1. ↑ Melanie J. Leng, Jim D. Marshall: [Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives](#). (PDF) In: *Quaternary Science Reviews*. 23, Nr. 7–8, April 2004, S. 811–831. doi:[10.1016/j.quascirev.2003.06.012](#).
2. ↑ [Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years \(PDF-Datei; 433 kB\)](#), Korrelationstabelle der *Subcomission on Quaternary Stratigraphy* der [ICS](#)
3. ↑ Thomas Litt, Karl-Ernst Behre, Klaus-Dieter Meyer, Hans-Jürgen Stephan und Stefan Wansa: *Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes*. In: T. Litt im Auftrag der Deutschen Stratigraphischen Kommission (Hrsg.): *Stratigraphie von Deutschland – Quartär. Special issue. Eiszeitalter und Gegenwart/Quaternary Science Journal*. 56, No. 1/2. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), 2007, [ISSN 0424-7116](#), S. 7–65, doi:[10.3285/eg.56.1-2.02](#).
4. ↑ Rik Tjallingii, Martin Claussen, Jan-Berend W. Stuut, Jens Fohlmeister, Alexandra Jahn, Torsten Bickert, Frank Lamy, Ursula Röhl: [Coherent high- and low-latitude control of the northwest African hydrological balance](#). (PDF) In: *Nature Geoscience*. 2008,

S. 670–675. [doi:10.1038/ngeo289](https://doi.org/10.1038/ngeo289).

5. [↑](#) Pages 2k Network: *Continental-scale temperature variability during the past two millennia*. In: [Nature Geoscience](#). Band 6, Nr. 5, Februar 2013, S. 339–346, [doi:10.1038/ngeo1797](https://doi.org/10.1038/ngeo1797) (nature.com).
6. [↑](#) Christian-Dietrich Schönwiese: *Klimaschwankungen* (= *Verständliche Wissenschaft*. Band 115). Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1979, S. 75–84.
7. [↑](#) Christian-Dietrich Schönwiese: *Klimaänderungen: Daten, Analysen, Prognosen*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1995, [ISBN 3-540-59096-X](https://www.isbn-international.org/product/3-540-59096-X), S. 79–92.
8. [↑](#) Ronald D. Gerste: *Wie das Wetter Geschichte macht: Katastrophen und Klimawandel von der Antike bis heute*. Klett-Cotta Verlag, Stuttgart 2015. [ISBN 978-3608949223](https://www.isbn-international.org/product/978-3-608-94922-3).
9. [↑](#) [*Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change \[Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson \(eds.\)\]*](#). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Abgerufen am 12. November 2018.
10. [↑](#) [*Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly*](#). [Science](#). Abgerufen am 28. September 2012.
11. [↑](#) William J. D’Andrea, Yongsong Huang, Sherilyn C. Fritz, N. John Anderson: [*Abrupt Holocene climate change as an important factor for human migration in West Greenland*](#). (PDF) In: [*Proceedings of*](#)

- [the National Academy of Sciences](#). 108, Nr. 24, Juni 2011, S. 9765–9769. [doi:10.1073/pnas.1101708108](https://doi.org/10.1073/pnas.1101708108).
12. [↑](#) Nicolás E. Young, Avriel D. Schweinsberg, Jason P. Briner, Joerg M. Schaefer: [Glacier maxima in Baffin Bay during the Medieval Warm Period coeval with Norse settlement](#). In: [Science Advances](#). 1, Nr. 11, Dezember 2015. [doi:10.1126/sciadv.1500806](https://doi.org/10.1126/sciadv.1500806).
 13. [↑](#) [Ronald D. Gerste](#): *Wie das Wetter Geschichte macht: Katastrophen und Klimawandel von der Antike bis heute*. Klett-Cotta Verlag, Stuttgart 2015. [ISBN 978-3-608-94922-3](#). S. 92–95.
 14. [↑](#) Raphael Neukom¹, Nathan Steiger, Juan José Gómez-Navarro, Jianghao Wang, Johannes P. Werner: *No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era*. In: *Nature*. 24. Juli 2019, [doi:10.1038/s41586-019-1401-2](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2).
 15. [↑](#) [NASA Goddard Institute for Space Studies](#), vom 19. Januar 2018
 16. [↑](#) IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. 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 and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: [Summary for policymakers](#).
 17. [↑](#) [Veerabhadran Ramanathan](#), J. A. Coakley: *Relative contributions of H₂O, CO₂ and O₃ to the greenhouse effect*. In: *Rev. Geophys and Space Phys*. Band 16, 1978, S. 465.