

Gletscher-Aufzeichnungen des Holozäns

geschrieben von Chris Frey | 16. Februar 2026

Andy May

Die Länge von Gletschern verändert sich im Laufe der Zeit: Sie wachsen, wenn das lokale Klima kälter ist, und schrumpfen, wenn es wärmer ist (Bray, 1968). Über Jahrhunderte und längere Zeiträume hinweg gilt die Länge von Gletschern laut Olga Solomina, Johannes Oerlemans und dem IPCC (Solomina et al., 2008), (Oerlemans, 2005) & (IPCC, 2001, S. 127-130) als äußerst zuverlässiger Indikator für regionale und weltweite Erwärmungstrends. Zwar kann die Untersuchung der Gletscherlänge Aufschluss über langfristige Erwärmungs- oder Abkühlungstrends in vergletscherten Gebieten geben, doch ist die Vorstellung eher spekulativ, dass sie hemisphärenweite oder globale Klimatrends aufzeigen können.

Vortreibende und zurückweichende Gletscher hinterlassen Spuren ihrer Längenveränderungen in Gletschermoränen. Diese sind leicht zu identifizieren und unterscheiden sich von anderen Sedimenten und Sedimentgesteinen, weil sie kantige Felsbrocken enthalten sowie unsortiert und ungeschichtet sind. Olga Solomina und Kollegen stellen in einem [Übersichtsartikel](#) aus dem Jahr 2015 fest:

„Untersuchungen der geomorphologischen und sedimentologischen Aufzeichnungen aus dem Holozän bieten die direkteste Möglichkeit, das Ausmaß und den Zeitpunkt von Gletscherschwankungen zu bestimmen. Bis vor kurzem war es aufgrund fehlender geeigneter Datierungs-Verfahren schwierig, das Alter von Moränen in vielen Regionen zu bestimmen. Am häufigsten wurde die Radiokarbonmethode verwendet, in einigen Fällen auch die optisch stimulierte Lumineszenz (OSL), aber in den meisten Fällen können diese Verfahren nur dazu verwendet werden, das maximale und/oder minimale Alter von Moränen zu bestimmen, indem organikreiche Ablagerungen datiert werden, die unter Moränen/Geschiebelehm, jenseits der Gletschergrenze (maximales Alter), auf Moränen oder innerhalb der Gletschergrenze (minimales Alter) begraben sind. Die Entwicklung der terrestrischen kosmogenen Nuklid-Datierung (TCN) hat jedoch eine direkte Methode zur Datierung von Moränen hervorgebracht und zu einer Vielzahl von Studien geführt, die neues Licht auf die Natur der Gletscherschwankungen im Holozän werfen.“

(Solomina et al., 2015)

Datierung von Gletscher-Vorstößen

Das TCN-Datierungsverfahren (terrestrische kosmogene Nuklide) (Larsen et al., 2021) eignet sich in einzigartiger Weise zur Datierung des maximalen Ausmaßes des Gletschervorstoßes vor einem Rückzug. Es handelt sich um ein geochronologisches Verfahren zur Bestimmung des Expositionsalters von Materialien auf der Erdoberfläche, wie z. B. Gesteinen, Sedimenten oder Landformen. Dabei wird die Konzentration seltener Isotope gemessen (oder genauer gesagt **Nuklide**, darunter Isotope von Beryllium, Chlor und Kohlenstoff), die durch Wechselwirkungen mit kosmischer Strahlung entstehen. Die Nuklide reichern sich im Laufe der Zeit an und dienen als „Uhr“, die angibt, wie lange das Material der kosmischen Strahlung ausgesetzt war. Diese Technik ist besonders wertvoll für die Datierung von Ereignissen im **Quartär**, die je nach Nuklid und Standortbedingungen zwischen einigen hundert Jahren und mehreren Millionen Jahren zurückliegen.

Zielmaterialien für die TCN-Datierung sind große, quarzreiche Felsblöcke, die vom Gletscher aus dem Grundgestein herausgerissen wurden und nun auf einem Moränenkamm liegen. Dabei handelt es sich um sehr kantige Felsblöcke, die zuvor nicht freigelegt waren, bis sie in oder auf dem Gletschermoränenmaterial abgelagert worden sind. Das aus der TCN abgeleitete Alter gibt an, wann der Felsblock abgelagert wurde und sich auf dem Moränenmaterial stabilisiert hat. Faktoren, die eine genaue Datierung beeinträchtigen können, sind starke Erosion oder langfristige Bedeckung durch Eis und Schnee. Moränen sind nach ihrer Ablagerung keine stabilen geologischen Formationen, insbesondere wenn sie mit Eis durchzogen sind. Felsbrocken können sich mit der Zeit verschieben und Nuklide aus einer früheren Exposition enthalten. Durch sorgfältige Probenahme und ordnungsgemäße Analyse mehrerer Felsbrocken pro Standort können diese Probleme in der Regel erkannt und manchmal behoben werden (Larsen et al., 2021).

Vorrücken und Rückzug von Gletschern sind sehr langfristige Klimaindikatoren. Sie reagieren sehr empfindlich auf kleine lokale Veränderungen der Durchschnittstemperatur und lassen sich genau datieren. Sie sind besonders nützlich, um festzustellen, wann ein Gletscher von einem langfristigen Vorrücken zu einem langfristigen Zurückziehen übergeht und eine „Endmoräne“ hinterlässt. Ein maximaler Rückzug ist schwieriger zu erkennen, da nachfolgende Vorstöße oft die Endmoräne eines Rückzugs zerstören und Felsbrocken Nuklide enthalten können, die sich während früherer Expositionen angesammelt haben (Larsen et al., 2021).

Ein anthropogener Erwärmungs-Indikator?

Solomina et al. sind der Ansicht, dass die derzeitige Geschwindigkeit des Gletscherrückgangs ungewöhnlich ist und ein Indikator für die anthropogene Erwärmung darstellt. Dies ist aufgrund des sehr kurzen Zeitraums der möglichen anthropogenen Erwärmung, der laut IPCC (IPCC,

2021, S. 117) etwa die letzten 70 Jahre umfasst, recht spekulativ. Da sich die Welt von 1950 bis ~1975 [abgekühlt](#) hat, ist der Zeitraum der Erwärmung tatsächlich kürzer, eher 50 Jahre, und in der Mitte dieses Zeitraums, von 1998 bis etwa 2013, gab es eine weitere Abkühlungsphase (oder zumindest eine „Pause“ in der Erwärmung), was weitere Zweifel an der Hypothese aufkommen lässt, dass der Mensch mit seinen Treibhausgasemissionen das Klima erheblich beeinflusst hat. Eine Zusammenfassung der Diskussion einiger prominenter Klimaforscher über die sogenannte „Pause in der Erwärmung“ findet man [hier](#).

Solomina et al. und der IPCC (IPCC, 2007b, S. 436) sind der Ansicht, dass die jüngste Erwärmung und der damit verbundene fast weltweite Gletscherrückgang nicht auf die gleichen orbitalen Ursachen zurückgeführt werden können wie diejenigen, die während des Holozänen Klimaoptimums (oder „HCO“, siehe hier, Abbildung 4) auftraten, sodass sie auf menschliche Treibhausgasemissionen zurückzuführen sein müssen. Es stimmt zwar, dass sich die Umlaufbahnbedingungen der Erde von denen während des HCO unterscheiden, aber die Auswahl der Ursachen ist nicht binär. Im 20. Jahrhundert fand das moderne [Sonnenmaximum](#) statt, das laut Usoskin et al. (Usoskin et al., 2007, Tabellen 2 und 3) das [längste](#) große Sonnenmaximum seit 2.000 (SN-S-Reihe) bis 8.800 Jahren (SN-L-Reihe) war. Nur weil sich die Umlaufbahnposition seit der HCO verändert hat, bedeutet das nicht, dass die moderne Erwärmung auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist.

Was ist Klima?

Das Klima wird im Allgemeinen als das durchschnittliche oder vorherrschende Wetter eines Gebiets über einen langen Zeitraum definiert, wobei die Mindestdauer zur Definition des Klimas normalerweise mit 30 Jahren angenommen wird. Der Begriff „Gebiet“ ist dabei nicht näher definiert. Um eine Klimaveränderung zu messen, muss man also zwei sich nicht überschneidende Zeiträume von jeweils mehr als 30 Jahren zum Vergleich heranziehen. Selbst 30 Jahre können zu kurz sein, da der sehr einflussreiche [AMO-Meereszyklus](#) 60 bis 70 Jahre dauert. Weitere bedeutende langfristige Wetterschwankungen werden [hier](#) diskutiert. Aufzeichnungen über die Länge von Gletschern sind gute langfristige Klimaindikatoren, wenn die Längenänderungen nur einen kleinen Bruchteil der gesamten durchschnittlichen Gletscherlänge ausmachen. Veränderungen der Gletscherlänge sind auf Zeitskalen von einem Jahrhundert bis zu mehreren Jahrhunderten nützlich (Oerlemans, 2012). Es gibt einige seltene Gletscheraufzeichnungen, die auf Jahrzehntskalen genau sind, aber diese sind in der Regel kurze Aufzeichnungen, die nur die letzten ein oder zwei Jahrtausende umfassen und sich auf die Alpen und Skandinavien konzentrieren. In anderen Fällen werden Behauptungen über eine Auflösung im Jahrzehntmaßstab durch benachbarte inkonsistente Gletscheraufzeichnungen im Jahrzehntmaßstab widerlegt (Oerlemans, 2012). Eine weitere Komplikation besteht darin, dass Gletscher selten im Gleichgewicht mit ihrer Umgebung sind und die Reaktionszeit auf Veränderungen des lokalen Klimas bei größeren

Gletschern an sanften Hängen Hunderte von Jahren betragen kann (IPCC, 2021, S. 1278) & (Oerlemans, 2005).

Wie groß muss ein Gebiet sein, um ein „Klima“ zu definieren? Das ist eine schwierige Frage. Abbildung 1 deutet darauf hin, dass Klimaveränderungen nicht auf dem gesamten Planeten einheitlich sind. Die mittleren Breiten der Nordhalbkugel (NH) entwickeln sich im Vergleich zum Rest der Welt nach ihren eigenen Gesetzen, und Gleicher gilt für die Antarktis und die mittleren Breiten der Südhalbkugel (SH). Ich habe oft Diagramme der Temperaturrekonstruktionen von Rosenthal für die Straße von Makassar und Vinther für Grönland im Holozän [gezeigt](#) und glaube, dass sie die Klimaveränderungen in ihren unmittelbaren Gebieten repräsentieren. Ich bezweifle jedoch, dass Diagramme mit gerasterten oder durchschnittlichen hemisphärenweiten oder globalen Temperaturproxies sehr aussagekräftig sind, da der Begriff „Klima“ über so große Gebiete hinweg einfach nicht klar definiert ist.

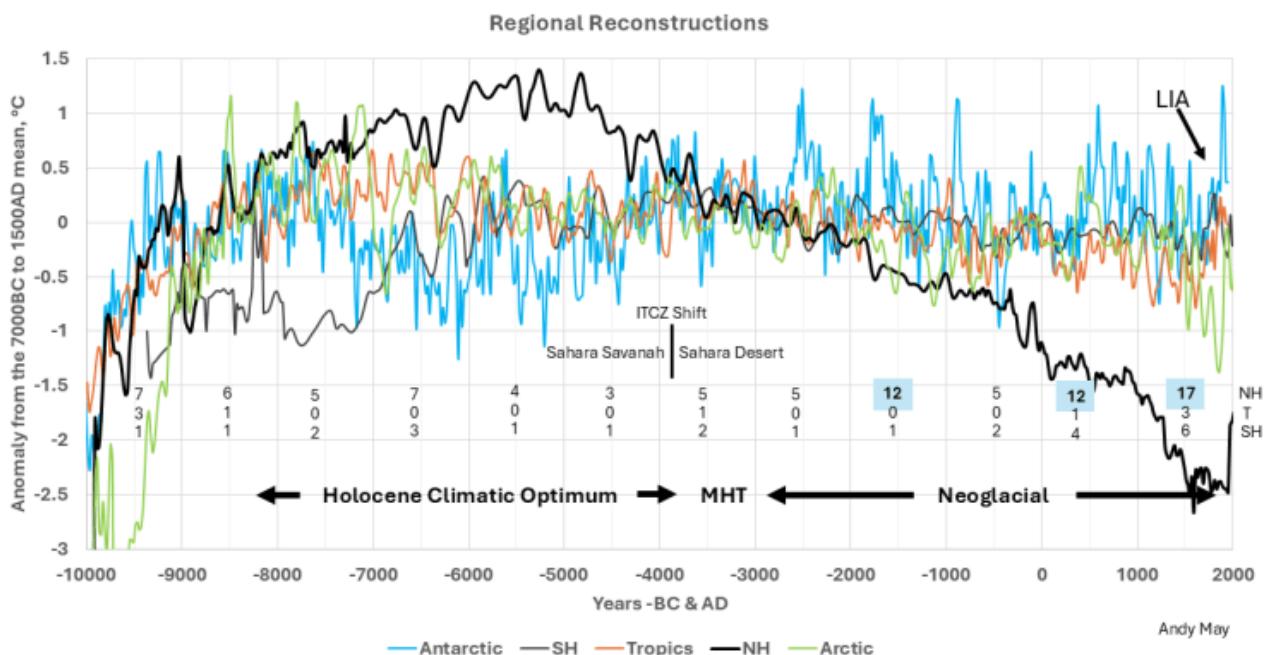


Abbildung 1: Durchschnittliche Temperaturproxies nach Breitengradscheiben; Antarktis (90S-60S), SH (60S-30S), Tropen (30S-30N), NH (30N-60N) und Arktis (60N-90N). Einzelheiten finden Sie [hier](#).

Die drei Zahlenbereiche in der Garphik zwischen -1,5 und -2 °C entsprechen von oben nach unten den Gletschervorstößen in der nördlichen Hemisphäre, den Tropen und der südlichen Hemisphäre im angegebenen Jahrtausend gemäß Solomina et al. (2015). Wenn die Gletschervorstöße in der nördlichen Hemisphäre 10 überschreiten, ist die Zahl fett gedruckt und blau schattiert. Meine Interpretation des Beginns und Endes des Holozän-Klimaoptimums, des Übergangs zur mittleren Holozän-Periode und der Neoglazial-Perioden ist am unteren Rand des Diagramms dargestellt. Eine Erörterung des Übergangs der Sahara zur Wüste finden Sie [hier](#).

Gletscher-Vorstöße im Holozän

Die meisten Gletscher ziehen sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in der nördlichen Hemisphäre und in einigen Teilen der südlichen Hemisphäre zurück, sind aber heute immer noch größer als zu Beginn und in der Mitte des Holozäns. Die meisten Gletscher erreichten ihre minimale Ausdehnung im Holozän vor 8.000 bis 6.000 Jahren. Anschließend dehnten sich die Gletscher aus und erreichten zwischen etwa 1500 und 1850 n. Chr. ihre maximale Ausdehnung im Holozän (IPCC, 2021, S. 345) & (Solomina et al., 2015). Wichtig ist, dass die meisten Gletscher weltweit ihre maximale Ausdehnung im Holozän während der Kleinen Eiszeit erreichten, darunter alle Gletscher der nördlichen und südlichen Hemisphäre sowie in den Tropen. In Abbildung 1 ist der maximale Gletschervorstoß zwischen 1000 und 2000 n. Chr. für alle Regionen dargestellt. In Alaska, Grönland, Island, Skandinavien, Mitteleuropa, Russland, den Tropen und der Antarktis waren die Gletscher während der Römischen Warmzeit, etwa 250 v. Chr. bis 400 n. Chr., kleiner als heute (Solomina et al., 2015, Abb. 2).

Kurzfristige und jüngste Gletscherrückgänge liefern oft schlechte Ergebnisse mit großer Altersstreuung, sodass eine genaue Messung der Rückgangsraten seit den großen Gletschervorstößen der Kleinen Eiszeit (LIA) problematisch ist und sich auf die instrumentelle Ära beschränkt (Oerlemans, 2005) & (Oerlemans, 2012). Gletscherschwund verläuft selten sauber; er ist durch häufige erneute Vorstöße gekennzeichnet, die junge, frische Felsblöcke mit Felsblöcken aus früheren Rückgängen oder Vorstößen vermischen, was zu einer großen Streuung der Datierungen führt. Daher werden wir wahrscheinlich mehrere hundert Jahre lang nicht wissen, wie die aktuelle Geschwindigkeit des Gletscherschwunds im Vergleich zu früheren Rückgängen ist, wenn überhaupt.

Vergleich des Vorrückens und Zurückziehens von Gletschern mit anderen Temperaturaufzeichnungen

Die meisten Wissenschaftler sind sich über die Elemente der Temperaturveränderungen global und auf der Nordhalbkugel während des Holozäns einig. Nach der Kaltzeit der Jüngeren Dryas um 9.700 v. Chr. kam es zu Beginn des Holozäns zu einem sehr raschen Temperaturanstieg (Walker et al., 2009), der seinen Höhepunkt während des Holozänen Klimoptimum (HCO) irgendwann vor 3.500 v. Chr. in den Tropen und den mittleren Breiten der nördlichen und südlichen Hemisphäre erreichte (siehe [hier](#)). In der Arktis und Antarktis endete sie früher, möglicherweise aufgrund von Änderungen der Neigung der Erdachse, die zu einer Verringerung der Sonneneinstrahlung an den Polen und einer Zunahme in den Tropen führten (siehe [hier](#) für eine Diskussion).

Nach dem Ende der HCO in den Breitengraden außerhalb der Polarregionen um 4000 v. Chr. begann die mittlere Holozän-Übergangsphase (MHT). Zu dieser Zeit begann sich die Sahara in eine Wüste zu verwandeln und die Temperaturen sanken (außer in der Antarktis) in einer Periode, die als

Neoglazial bis zur Kleinen Eiszeit (LIA) bezeichnet wird, der kältesten Periode des Holozäns. Erst zwischen 1700 und 1850 n. Chr. kehrte sich der Temperaturtrend um und es kam zu einer Erwärmung. Die Warmphase nach 1700 n. Chr. wird üblicherweise als moderne Warmzeit bezeichnet. Die Elemente des Holozäns sind in Abbildung 1 dargestellt. Der Beginn und das Ende jeder Periode sind ungefähre Angaben, da die Übergänge allmählich verliefen und nicht weltweit synchron stattfanden.

Abbildung 1 zeigt Temperatur-Rekonstruktionen nach Breitengraden unter Verwendung ausgewählter Proxies aus dem Holozän aus Marcotts (Marcott et al., 2013) globaler Sammlung. Die Details zur Erstellung der einzelnen Rekonstruktionen werden in einer Reihe von Beiträgen [hier](#) erläutert. Ich bin kein Fan solcher Rekonstruktionen, weil sie irreführend sein können. Die Kurven in Abbildung 1 sind wahrscheinlich richtungsmäßig korrekt, aber sie haben eine sehr geringe Auflösung und sind nicht sehr genau, sodass die Temperaturabweichungen nicht wörtlich genommen werden dürfen. Sie zeigen keine klimatischen Ereignisse, die kürzer als etwa 150 Jahre sind, und die Temperaturnauigkeit ist nicht besser als $\pm 0,5$ °C. Die Temperaturschwankungen sind höher als dargestellt, sodass diese Proxies nicht mit modernen instrumentell gemessenen Temperaturen verglichen werden können, obwohl dies oft geschieht. Weitere Details finden Sie [hier](#).

Wie in meinem letzten [Beitrag](#) [in deutscher Übersetzung [hier](#)] und [hier](#) bereits erwähnt, ist es besser, das Klima in einem lokalen Kontext zu betrachten als regional (wie in Abbildung 1) oder global. Im letzten Beitrag habe ich Vinthers Rekonstruktion für Grönland und Rosenthals Rekonstruktion für die Straße von Makassar dargestellt, die jeweils ein relativ kleines Gebiet abdecken, relativ genau sind und eine zeitliche Auflösung zwischen 20 und 50 Jahren aufweisen, was deutlich besser ist als die durchschnittliche Auflösung von Temperaturproxies für das Holozän von 164 Jahren (Kaufman et al., 2020b). Der beste Weg, die Gegenwart mit der Vergangenheit zu vergleichen, ist innerhalb lokaler Klimaregime. Um jedoch globale Klimaveränderungen zu untersuchen, muss man großflächige Rekonstruktionen wie die in Abbildung 1 dargestellten erstellen und dabei berücksichtigen, dass deren zeitliche Auflösung und Genauigkeit gering sind.

Wie Abbildung 1 deutlich macht, unterscheiden sich die Klimaveränderungen, zumindest gemessen an der Durchschnittstemperatur, je nach Breitengrad erheblich. Die mittleren nördlichen Breitengrade („NH“, 30N bis 60N, schwarze dicke Linie in Abbildung 1) fallen besonders auf. NH, die Antarktis, die Arktis und die Tropen erwärmen sich im frühen Holozän schneller, während sich die südliche Hemisphäre (SH) später erwärmt. Der Höhepunkt der Erwärmung tritt spät in der NH und SH und früh in der Arktis und Antarktis ein. Die Temperaturen fallen früh in der Antarktis und erholen sich in der Mitte des Holozän-Übergangs. Während der Neoglazialperiode vor der Kleinen Eiszeit schwankt die Temperatur in den meisten Teilen der Welt um einen relativ konstanten Wert oder sinkt leicht, während die Temperatur in der NH

rapide fällt. Nach 1000 n. Chr. sinken die Temperaturen in der Arktis, der SH und den Tropen, steigen jedoch in der Antarktis. Die Tropen und die Arktis weisen zwei Temperaturspitzen auf, eine zu Beginn des Holozäns und eine während der Mitte des Holozäns.

Gletschervorstöße erzählen die gleiche Geschichte. In Abbildung 1 sind die drei Zahlenreihen zwischen -1,5 und -2 Grad von oben nach unten die Gletschervorstöße der nördlichen Hemisphäre, der Tropen und der südlichen Hemisphäre, wie sie in Solomina et al. (2015) in ihrer Tabelle 2 aufgeführt sind. Ich habe die Vorstöße für jedes Jahrtausend addiert. In Tabelle 2 von Solomina et al. sind nur die ersten Werte summiert, mögliche Duplikate nach den Pluszeichen habe ich ignoriert.

Wenn wir uns die Gesamtzahlen der Gletschervorstöße ansehen, stellen wir fest, dass sie vor 7.000 v. Chr. zahlreicher sind. Zwischen 7.000 v. Chr. und 2.000 v. Chr. gibt es weniger Vorstöße. Nach 2.000 v. Chr., als die Bronzezeit in die griechische Dunkle Zeit übergeht, nimmt die Zahl der Vorstöße zu, bis sie nach 1.000 n. Chr. ihren Höhepunkt erreicht. Die Kleine Eiszeit (LIA) verzeichnet mit Abstand die meisten Gletschervorstöße im Holozän.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die in Abbildung 1 dargestellten Temperaturrekonstruktionen für Breitengrade mit geringer Auflösung und Ungenauigkeit (aber richtungsgemäßer Korrektheit) werden qualitativ durch die Zusammenfassung von Solomina et al. zum Gletschervorstoß gestützt. Die Verschiebung der ITCZ im Holozän, die den Beginn der Wüstenbildung in der Sahara markiert, fällt mit dem zweiten Höhepunkt der Aufzeichnungen für die Antarktis, die Tropen und die Arktis sowie mit dem Temperaturhöhepunkt des Holozäns in der südlichen Hemisphäre zusammen. Die Antarktis weist keine Anomalie der Kleinen Eiszeit auf, alle anderen Scheiben jedoch schon, wenn auch nicht synchron. Die Anomalie der Kleinen Eiszeit in der nördlichen Hemisphäre stellt die in den anderen Scheiben beobachteten Anomalien in den Schatten. Wir lesen viel über die „Arktische Verstärkung“, aber es sind die Temperaturaufzeichnungen der mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre, die in diesem Maßstab hervorstechen.

Die Gletschervorstöße der Kleinen Eiszeit zwischen 1000 und 2000 n. Chr. sind die stärksten, die in allen drei Regionen (NH, T und SH) während des gesamten Holozäns beobachtet worden waren. Angesichts des Zeitrahmens für den Gletschervorstoß und -rückzug sowie die Erhaltung und Erkennung von Moränen können Gletschervorstöße mindestens für weitere hundert Jahre und wahrscheinlich noch länger nicht zur Untermauerung oder Widerlegung der anthropogenen Erwärmung herangezogen werden. Abbildung 1 legt auch nahe, dass die Vorstellung einer „globalen Erwärmung“, d. h. eines gleichmäßigen Temperaturanstiegs aufgrund synchroner Veränderungen der Treibhausgase auf der gesamten Erde, für das gesamte Holozän nicht zutrifft. Abbildung 2 zeigt, dass „globale“

Erwärmung" nicht einmal eine gute Beschreibung dessen ist, was heute geschieht:

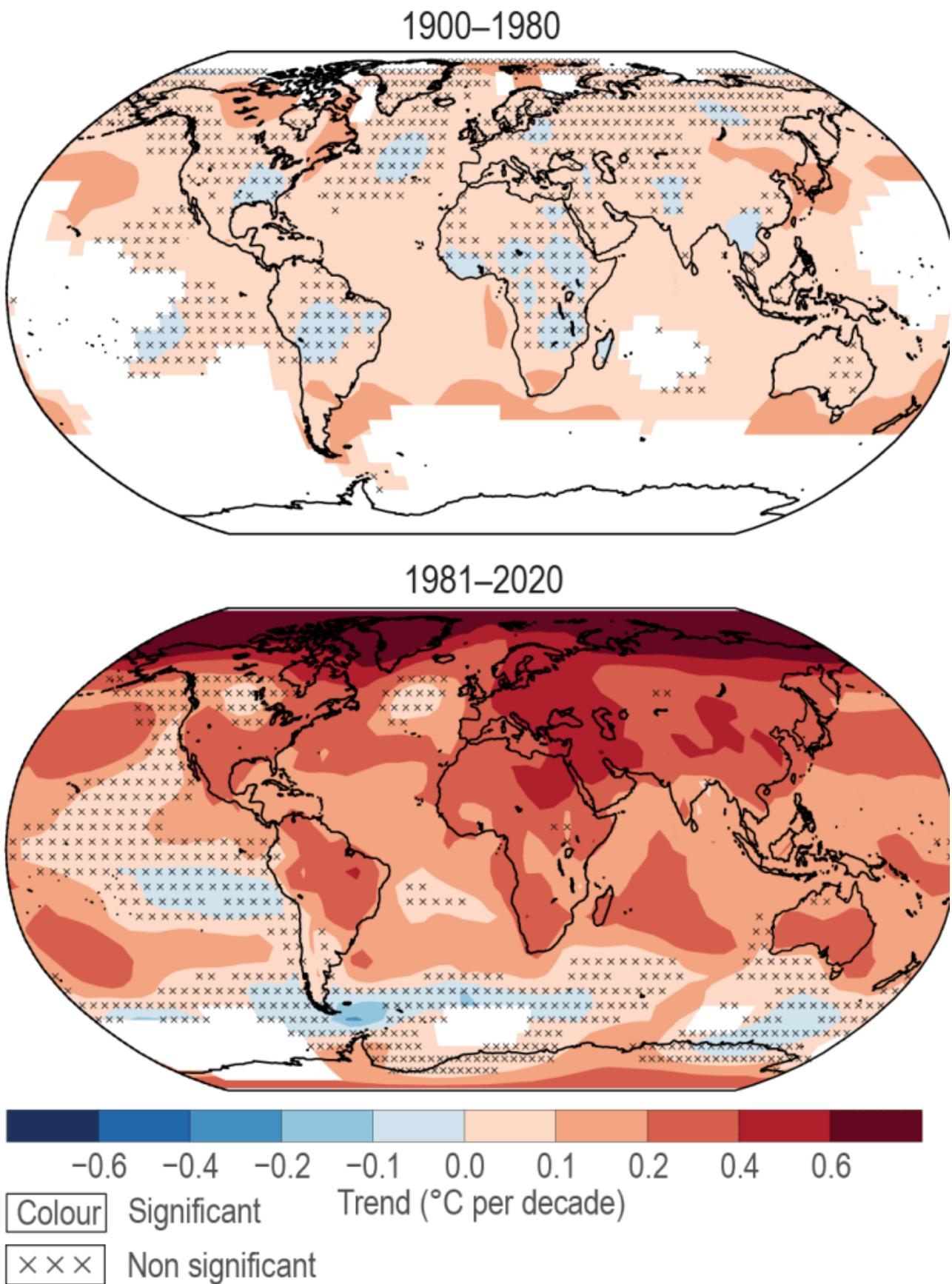


Abbildung 2. Veränderungen der gerasterten instrumentellen Temperatur über zwei Zeiträume, 1900–1980 und 1981–2020, aus dem IPCC-Bericht AR6 WG1, Abbildung 2.11B, Seite 316.

Abbildung 2 stammt aus AR6 (IPCC, 2021, S. 316) und zeigt die globale Erwärmung von 1900 bis 1980 (obere Karte) und von 1981 bis 2020 (untere Karte). Rötliche Farben zeigen Erwärmung an, blaue Farben Abkühlung. Die X-Zeichen kennzeichnen Gitterzellen mit einem unbedeutenden Trend. Weiße Bereiche sind Gebiete mit unzureichenden Daten. Unter dem Strich ist die Luftbildabdeckung insbesondere in der südlichen Hemisphäre schlecht, und viele Gebiete haben sich im letzten Jahrhundert abgekühlt und nicht erwärmt. Es kann nicht gesagt werden, dass die Schwankungen der Gletscher die These einer anthropogenen Erwärmung in jüngster Zeit stützen, und auch an den instrumentellen Daten bestehen erhebliche Zweifel.

Referenzen

Bray, J. R. (1968). Glaciation and Solar Activity since the Fifth Century BC and the solar cycle. *Nature*, 220. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/220672a0>

IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis [TAR]*. New York: University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

IPCC. (2007b). *WG1: Climate Change 2007: The Physical Science Basis (AR4)*. Cambridge University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, . . . B. Zhou (Ed.), *WG1*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Kaufman, D., McKay, N., Routson, C., Erb, M., & Dätwyler, C. (2020b). A Global Database of Holocene Paleotemperature Records. *Scientific Data*, 7(2021). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>

Larsen, N. K., Søndergaard, A. S., Levy, L. B., Laursen, C. H., Bjørk, A. A., Kjeldsen, K. K., . . . Kjær, K. H. (2021). Cosmogenic nuclide inheritance in Little Ice Age moraines – A case study from Greenland. *Quaternary Geochronology*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2021.101200>

Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., & Mix, A. C. (2013, March 8). A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*, 1198-1201. Retrieved from <https://science.sciencemag.org/CONTENT/339/6124/1198.abstract>

Oerlemans, J. (2005). Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records. *Science*, 308. <https://doi.org/10.1126/science.1107046>

Oerlemans, J. (2012). Linear Modelling Of Glacier Length Fluctuations. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2012.00469.x>

Solomina, O. N., Bradley, R. S., Hodgson, D. A., Ivy-Ochs, S., Jomelli, V., Mackintosh, A. N., . . . Young, N. E. (2015). Holocene glacier fluctuations. *Quaternary Science Reviews*, 111.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.11.018>

Solomina, O., Haeberli, W., Kull, C., & Wiles, G. (2008). Historical and Holocene glacier-climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*, 60.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.001>

Tomkins, M. D., Dortch, J. M., Hughes, P. D., Huck, J. J., Pallàs, R., Rodés, Á., . . . Rodríguez-Rodríguez, L. (2021). Moraine crest or slope: An analysis of the effects of boulder position on cosmogenic exposure age. *Earth and Planetary Science Letters*, 570.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117092>

Usoskin, I. G., Solanki, S. K., & Kovaltsov, G. A. (2007). Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints. *Astronomy & Astrophysics*, 471(1), 301-309.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361:20077704>

Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, U. O., Popp, T., Steffensen, J.-P., Gibbard, P., . . . Newnham, R. (2009). Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal Of Quaternary Science*, 24, 3-17.
<https://doi.org/10.1002/jqs.1227>

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2026/02/13/holocene-glacier-records/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE