

Die globale Erwärmung ist im Gange – was bedeutet das?

geschrieben von Chris Frey | 25. Juni 2021

So ein bisschen Erwärmung – na und? Bild: Uta Herbert / pixelio.de

Andy May

Die Konzepte und Daten, die zur Erstellung von Temperatur- und Klimarekonstruktionen bzw. -schätzungen verwendet werden, entwickeln sich ständig weiter. Derzeit gibt es über 100.000 globale Wetterstationen an Land und über 4.500 ARGO-Bojen und Wetterbojen auf See. Hinzu kommen regelmäßige Messungen durch Satelliten und Schiffe auf See. Die Messorte sind genau bekannt, das Datum und die Uhrzeit jeder Messung sind bekannt, und die Instrumente sind meist auf $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ oder besser geeicht. So können wir eine vernünftige globale durchschnittliche Oberflächentemperatur berechnen.

Je weiter wir jedoch in die Vergangenheit gehen, desto weniger Messungen haben wir. Vor 2005 verschlechtern sich die Messungen an der Meeresoberfläche schnell und vor 1950 ist das landgestützte Wetterstationsnetz recht dürftig, besonders auf der Südhalbkugel. Vor 1850 ist die Abdeckung so schlecht, dass sie für die Schätzung der globalen Durchschnittstemperatur unbrauchbar ist. Vor 1714 war das kalibrierte Thermometer noch nicht einmal erfunden; die Welt musste auf [Gabriel Fahrenheit](#) warten.

Ist die globale Durchschnittstemperatur eine nützliche Klimamessgröße? Wie können wir die heutige globale oder hemisphärische Temperatur mit der Vergangenheit vergleichen? Moderne Instrumente, die den Globus abdecken, gibt es erst seit 2005, plus oder minus ein paar Jahre. Wenn wir genaue Messungen seit 2005 haben, wie können wir sie dann mit den globalen Temperaturen vor Hunderten oder Tausenden von Jahren vergleichen? Die Welt hat sich seit 1950 um $0,8^{\circ}\text{C}$ und [seit 2005](#) um $0,3^{\circ}\text{C}$ erwärmt, das klingt nicht sehr beängstigend. In dieser zweiteiligen Serie werden wir diesen Fragen nachgehen. Wir werden in einem zweiten Beitrag, der in ein oder zwei Tagen erscheinen sollte, eine Lösung für das Problem vorschlagen.

Versuche, hemisphärische oder globale Temperaturlaufzeichnungen zu konstruieren, die 1.000 oder mehr Jahre zurückreichen, sind bisher nicht überzeugend. Diese statistischen Rekonstruktionen kombinieren verschiedene Temperaturproxies wie z.B. Baumringmessungen, Messungen von Sauerstoffisotopen aus Eiskernen, Mg/Ca-Verhältnisse in fossilen Muscheln, verschiedene organische Paläo-Thermometer, wie Tex86, Bohrlochtemperaturmessungen oder andere Temperatur-bezogene Messungen aus Sedimentkernen von Seen oder dem Meeresboden, zu einer einzigen

Temperaturaufzeichnung der Vergangenheit. Es gibt zahlreiche Probleme beim Vergleich dieser Aufzeichnungen mit der gegenwärtigen globalen Temperaturaufzeichnung.

1. Alle gegenwärtigen Temperaturaufzeichnungen, zumindest seit 2005, beziehen sich auf eine objektive Standardtemperatur, es handelt sich um tägliche, gut terminierte Messungen, und der Ort und die Höhe jeder Messung sind genau bekannt. Die globale Abdeckung an Land, im Meer und von Satelliten ist gut.

2. Die verschiedenen Proxies, die in den Rekonstruktionen verwendet werden, haben alle Verzerrungen und ihre Beziehung zur Oberflächentemperatur ist oft saisonal. Sommertemperaturen ändern sich oft mit einer [anderen Geschwindigkeit](#) als Wintertemperaturen.

3. Alle Proxies haben andere Einflüsse, die sich auf sie auswirken, Baumringe werden zum Beispiel durch Niederschlag, Windgeschwindigkeit und CO₂ beeinflusst (National Research Council, 2006, S. 45-52). Eiskernaufzeichnungen werden durch Höhenlage, Wolkenhöhe und Niederschlagsraten beeinflusst (Vinther, et al., 2009). Proxies verlieren mit der Zeit an zeitlicher und Temperaturgenauigkeit.

4. Die zur Erstellung der Temperatur-Rekonstruktionen verwendeten statistischen Verfahren sind für ihren Zweck unzureichend und fehlerhaft (Wegman, Scott, & Said, 2010). Die Verfahren produzieren ein quantitatives Ergebnis, aber sie garantieren keine „physikalische Bedeutung“ oder „physikalische Realität“ (Soon, Baliunas, Idso, Idso, & Legates, 2003b).

Längerfristige natürliche klimatische Veränderungen wirken sich auf der Erde nach Breitengraden aus; so ist die südliche Hemisphäre oft nicht synchron mit der nördlichen Hemisphäre, außerdem weisen die mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre (30°N bis 60°N) aufgrund der dortigen Konzentration von Landflächen mehr Temperaturextreme auf als der Rest der Erde, wie in Abbildung 1 dargestellt:

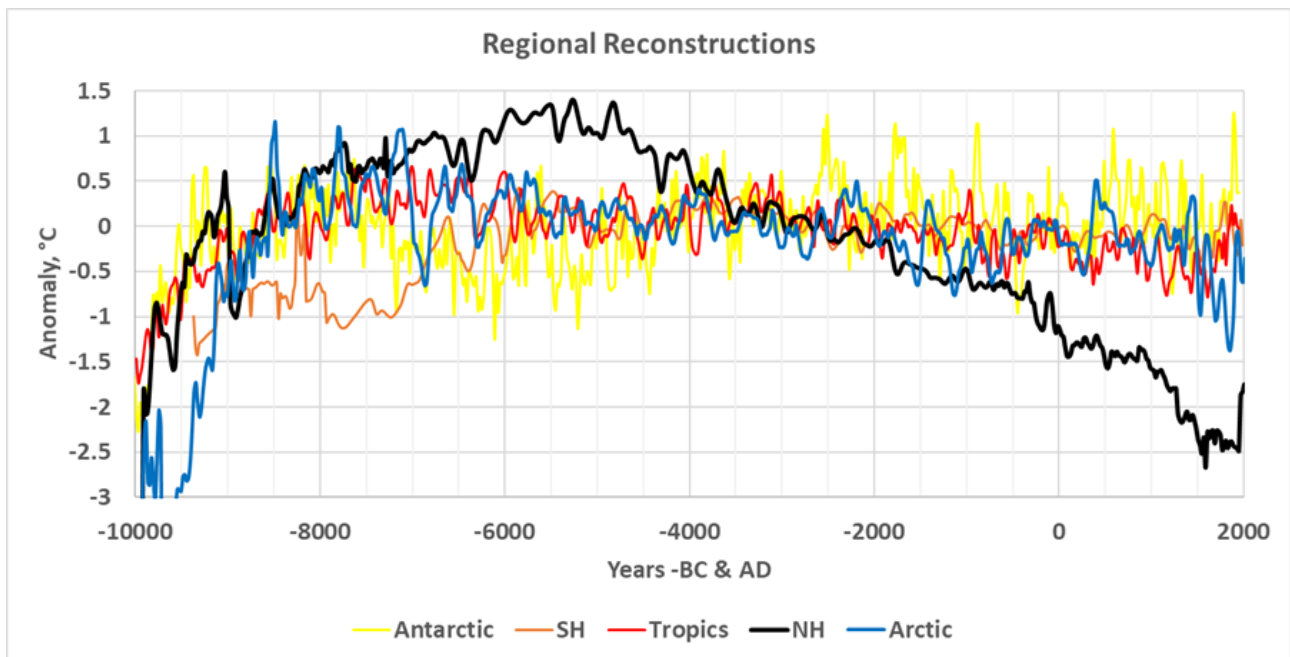


Abbildung 1. Multi-Proxy-Rekonstruktionen der globalen Temperatur nach Breitengrad. Antarktis (90S bis 60S), Südliche Hemisphäre (SH, 60S-30S), Tropen (30S-30N), Nördliche Hemisphäre (NH, 30N bis 60N), Arktis (60N-90N). Quelle: [Mai, 2017](#)

Bo Christiansen und Fredrik Ljungqvist (Christiansen & Ljungqvist, 2011) haben gezeigt, dass die verschiedenen in der Vergangenheit verwendeten räumlichen Regressionstechniken, in der Regel eine Form der Hauptkomponentenanalyse, sowohl die langfristige als auch die kurzfristige Temperaturvariabilität deutlich unterdrücken. Ihre „LOC“-Methode ist vom Konzept her ähnlich wie die in Abbildung 1 verwendete Methode, aber ausgefeilter. Sie erstellen lokale Rekonstruktionen am Ort jedes Temperaturproxys. Jeder Proxy wird auf Signifikanz im Vergleich zu modernen lokalen Instrumentaltemperaturen getestet und verworfen, wenn der Proxy versagt. Lokale Rekonstruktionen werden durchgeführt und dann über die außertropische ($>30^{\circ}\text{N}$) Nordhemisphäre gemittelt. Indem der Prozess einfach gehalten wird, bleibt mehr Variabilität erhalten, aber auch diese Rekonstruktionen haben nicht die Variabilität moderner Temperaturlaufzeichnungen und können nicht direkt mit ihnen verglichen werden, da die Proxy-Standorte zu spärlich sind. Außerdem werden alle lokalen Proxies mit modernen instrumentellen Temperaturen kalibriert, es gibt keine Überprüfung der Gültigkeit der Kalibrierung der von den Proxies abgeleiteten Temperaturen vor der Instrumentierung.

Renee Hannon hat die besten Eisbohrkern-Temperaturproxies aus Grönland und der Antarktis verglichen und eine ähnliche Beziehung wie in Abbildung 1 gefunden. Abbildung 2 vergleicht die polaren Temperaturlaufzeichnungen mit der Gesamteinstrahlung, die im Juni auf 65°N und im Dezember auf 65°S Breitengrad aufgrund der orbitalen Eigenschaften der Erde empfangen wird:

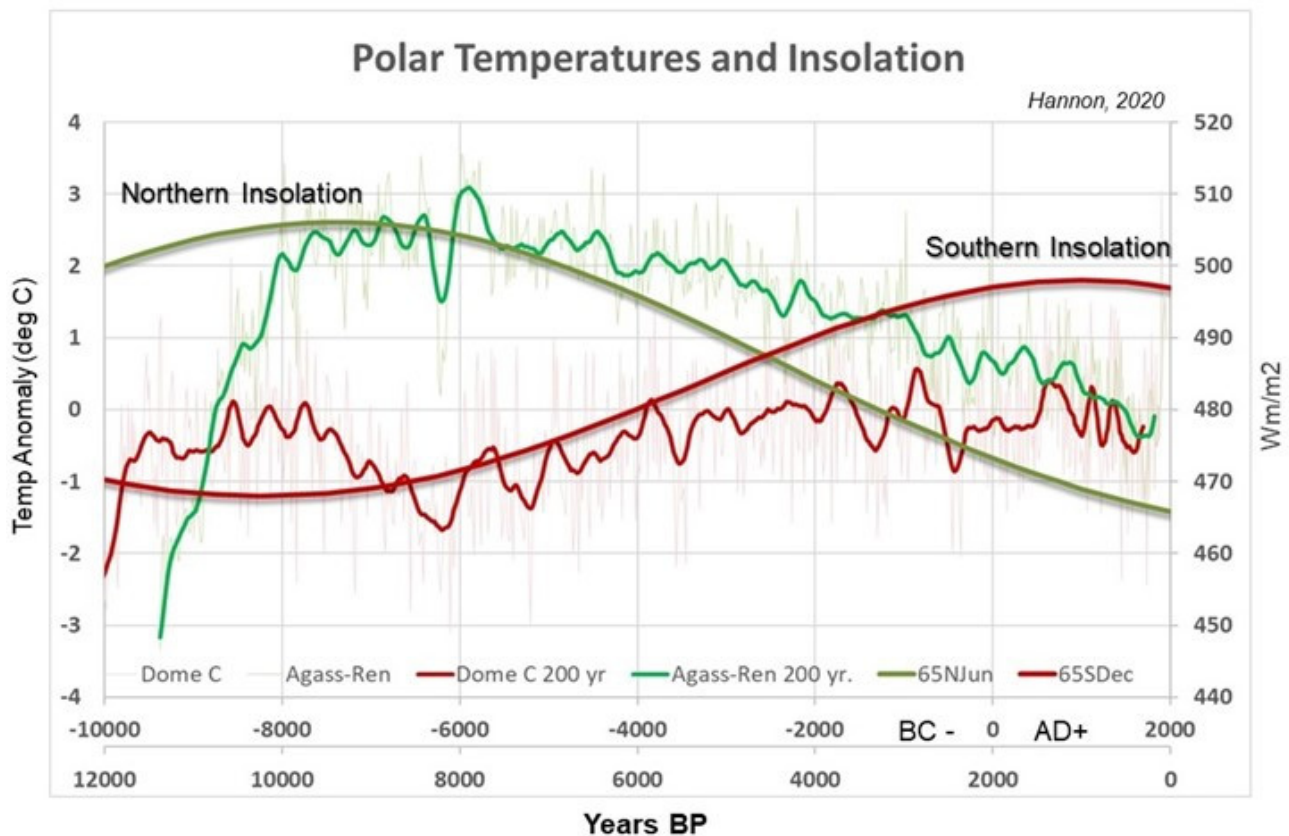


Abbildung 2. Aus Eiskernen abgeleitete Oberflächentemperaturen für Grönland in grün und die Antarktis in rot, verglichen mit der jeweiligen Sonneneinstrahlung bei 65°N im Juni und 65°S im Dezember. Quelle: [Renee Hannon](#).

Selbst wenn man die Änderungen der Sonneneinstrahlung berücksichtigt (siehe rechte Skala), sind die Schwankungen auf der Nordhalbkugel viel dramatischer als die auf der Südhalbkugel. Hannon [erklärt](#), dass der Unterschied in den Extremen wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass der Arktische Ozean von Land umgeben ist und der Südliche Ozean die Antarktis umgibt. Außerdem gibt es orbitale und andere natürliche Eigenschaften, die unser Klima beeinflussen. All diese Einflüsse sind in den Einstrahlungskurven in Abbildung 2 nicht enthalten. Sie werden von Javier Vinós [hier](#) und [hier](#) gut erklärt.

Die CO₂-Aufzeichnungen aus den Eiskernen der Antarktis und Grönlands stimmen nicht überein, was merkwürdig ist, da CO₂ normalerweise als ein [gut durchmisches Gas](#) gilt. Die CO₂-Messungen aus grönländischen Eiskernen liegen meist höher als die CO₂-Schätzungen aus der Antarktis und sind variabler. Die meisten Forscher glauben, dass die grönländischen Messungen verunreinigt sind und verwenden sie nicht; sie verlassen sich nur auf die antarktischen Messungen. Diese Ansicht kann fehlerhaft sein, wie Renee Hannon [hier](#) feststellt.

Wie Hannon weiter ausführt, korrelieren die antarktischen Langzeit-Temperaturrekonstruktionen gut mit den antarktischen CO₂-

Eiskernmessungen, aber die grönländischen Temperaturen haben eine **negative** Korrelation mit der antarktischen CO₂-Konzentration. Grönländische CO₂-Messungen korrelieren besser mit grönländischen Temperatur-Rekonstruktionen als die antarktische CO₂-Aufzeichnung. Da CO₂ gut durchmischt ist, sollte es langfristig, also über Zeiträume von mehr als ein paar Jahren, einen globalen Effekt auf die Temperatur haben. Warum hat CO₂ eine positive Korrelation mit den Temperaturen des Südpols und eine negative Korrelation mit den Temperaturen des Nordpols? Dies scheint auszuschließen, dass CO₂ einen dominanten Einfluss auf das Klima hat, zumindest auf lange Sicht. Die negative Korrelation deutet stark darauf hin, dass die Temperatur die CO₂-Konzentration sowohl in der Antarktis als auch in Grönland bestimmt und nicht umgekehrt.

Wie polare Klimaereignisse sind auch die mittelalterliche Warmzeit und die kleine Eiszeit nicht überall räumlich oder zeitlich synchron (Soon, Baliunas, Idso, Idso, & Legates, 2003b). Die Probleme mit hemisphärischen und globalen Durchschnittswerten werden sehr deutlich, wenn wir erkennen, dass lokales Wetter und Klima auf der ganzen Welt dramatisch variieren. Klima und Klimaveränderungen sind lokal, nicht global oder gar hemisphärisch.

Kurzfristige Variabilität geht verloren, wenn Proxies mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung gemischt werden. Langfristige Variabilität geht durch Standardisierungstechniken verloren, die dazu gedacht sind, nichtklimatische Verzerrungen zu korrigieren, aber leider auch Klimaextreme entfernen. Proxy-Verzerrungen, die auf eine saisonale Verzerrung oder andere umweltbedingte Verzerrungen zurückzuführen sind, sind systematisch und nicht in den Vertrauensintervallen enthalten, die mit den Rekonstruktionen geliefert werden (Christiansen & Ljungqvist, 2011). Die „Konfidenzintervalle“ gehen davon aus, dass die Fehler zufällig sind und dass die kurzfristigen Trends um einen Mittelwert schwanken, der nahe an der richtigen Temperatur liegt. Systematische Fehler können den langfristigen Trend vom wahren Wert wegbewegen, daher der Name.

Globale oder hemisphärische Klimaänderungen, wie die Kleine Eiszeit oder die mittelalterliche Warmzeit, verursachen nur geglättete Anomalien von 0,5 bis 1,5°C, aber lokale, jährliche Änderungen sind viel größer (Soon, Baliunas, Idso, Idso, & Legates, 2003b).

Die letzte Schwäche aller hemisphärischen und globalen Rekonstruktionen ist die Spärlichkeit der Daten. Die in Abbildung 1 verwendeten Rekonstruktionen beruhen auf sehr wenigen Proxies. Die Rekonstruktionen für die Antarktis und die Südhemisphäre haben nur jeweils drei geeignete Proxies. Die Rekonstruktionen für die Tropen und die Nordhemisphäre basieren auf jeweils sieben Proxies. Die Arktis hat neun. Diese Abdeckung kann nicht legitimerweise mit der modernen Aufzeichnung verglichen werden, die über 100.000 Wetterstationen mit sehr präzisen Messwerten (relativ zu Proxies) hat, die genau lokalisiert und zeitlich festgelegt sind.

Wir müssen mit diesem absurden Versuch aufhören, moderne instrumentelle Temperaturen über ganze Hemisphären oder den Globus mit Proxy-basierten Temperaturen für das letzte Jahrtausend oder länger zu vergleichen. Dennoch verfolgen viele diese Sisyphusarbeit. Es scheint wahrscheinlich, dass das kommende AR6-Dokument versuchen wird, direkte Vergleiche der modernen Ära mit dem PETM (The Paleocene-Eocene Thermal Maximum), vor 56 Millionen Jahren, anzustellen!

Apropos Probleme mit der zeitlichen Auflösung. Es gibt nur sieben CO₂-Schätzungen, die einige Raten-Daten enthalten, zwischen 55 Ma (vor Millionen Jahren) und 56 Ma, wie in Abbildung 3 gezeigt. Dennoch behauptet Philip Gingerich, dass die Raten der „Kohlenstoff“-Emissionen heute 9-10 mal höher sind als während des PETM. Ernsthaft, woher weiß er das mit nur sieben Messungen in einer Million Jahren (Gingerich, 2019)? Gingerichs „Kohlenstoff“-Akkumulationsraten (er meint CO₂) werden über sehr grob geschätzte Zeiträume von 3.000 bis 20.000 Jahren berechnet, was für die heutige detaillierte Aufzeichnung seit etwa 1950 kaum relevant ist.

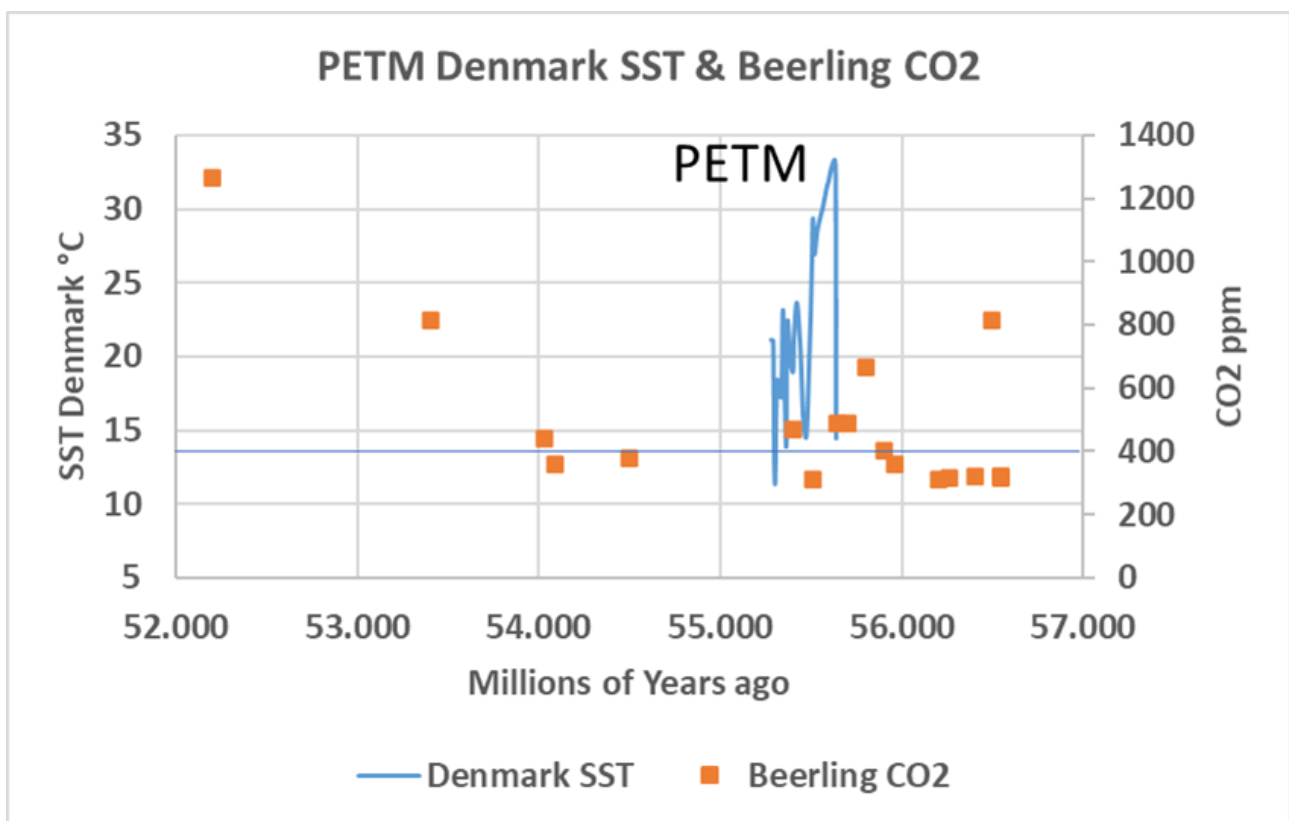


Abbildung 3. Rekonstruiertes CO₂ und Temperaturen während des PETM. Datenquellen, CO₂: (Beerling & Royer, 2011) und Dänemark SST's (Stokke, Jones, Tierney, Svensen, & Whiteside, 2020).

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, lag der CO₂-Gehalt während der PETM-Erwärmung im Durchschnitt nur wenig höher als heute, und drei Schätzungen sind niedriger als heute. Die blaue Linie in Abbildung 3 ist

die heutige durchschnittliche atmosphärische Konzentration. Während des PETM erreichten die Meeresoberflächentemperaturen (SST) in der Nähe von Dänemark 33°C. Signifikant höhere CO₂-Konzentrationen wurden jedoch erst eine Million Jahre später erreicht. Sie waren auch schon drei Millionen Jahre früher höher. Wie kann man diesen Zeitraum mit heute vergleichen, wenn wir tägliche Messungen sowohl der Temperatur als auch des CO₂ haben? Gar nicht – es ist nicht möglich.

Klima und Klimawandel sind regional, unabhängig von der Ursache. Wie bereits besprochen, beeinflusst die Sonneneinstrahlung den Globus je nach Breitengrad. Sich ändernde Meeresströmungen, wie ENSO, und Verschiebungen atmosphärischer Phänomene wie die ITCZ (Intertropische Konvergenzzone) sind regional. Wenn CO₂ den Klimawandel dominiert, warum sind die Veränderungen dann nicht global?

Willie Soon, Sallie Baliunas, Craig Idso, Sherwood Idso und David Legates waren ihrer Zeit weit voraus, als sie im Jahr 2003 zwei kritische Arbeiten zu diesem Thema veröffentlichten (Soon & Baliunas, 2003) und (Soon, Baliunas, Idso, Idso, & Legates, 2003b). Sie erkannten sehr früh die konzeptionellen Fehler in Mann, Bradley und Hughes' verschiedenen Proxy-basierten „Hockeysticks“. Später wurden die statistischen Techniken und die Proxies, die zur Generierung des Hockeysticks verwendet wurden, von Steve McIntyre und Ross McKittrick als falsch nachgewiesen (McIntyre & McKittrick, 2005), was von Andrew Montford in seinem monumentalen Werk „*The Hockey Stick Illusion*“ verewigt wurde. Wir konzentrieren uns oft auf Manns Hockeystick, aber die gleichen Probleme bestehen bei allen regressionsbasierten Proxy-Temperaturrekonstruktionen, einschließlich Mobergs, Marcotts und vielen anderen (Moberg, Sonechkin, Holmgren, Datsenko, & Karlen, 2005) und (Marcott, Shakun, Clark, & Mix, 2013).

Eiskerndaten für die letzten 2.000 Jahre haben eine jährliche Auflösung, da in so jungen Kernen typischerweise jährliche Schichten erkennbar sind. Aktuelle Baumring- und Korallenaufzeichnungen sind ebenfalls oft auf das Jahr genau. Historische Aufzeichnungen, wie z. B. die Position von Gletschern, sind manchmal auf den Tag genau. Proxies, die älter als ein- bis zweitausend Jahre sind oder andere Arten von Proxies haben typischerweise Daten, die viel weniger genau sind. Die aus Baumringen, Eisbohrkernen und Korallen geschätzten Proxy-Temperaturen werden durch Windgeschwindigkeit, Höhenänderungen, Wolkenhöhe und andere Umweltfaktoren beeinflusst. Großflächige Rekonstruktionen der Oberflächentemperatur vor 1600 n. Chr. haben ein geringes Vertrauen, vor allem aufgrund des Mangels an genauen Daten für die meisten oder alle Proxy-Proben. Ältere Proxy-Temperaturen sind auch aufgrund der kurzen Länge der instrumentellen Aufzeichnungen, die zu ihrer Kalibrierung verwendet wurden, verdächtig. Es ist bekannt, dass sich die Temperatur-Proxy-Beziehung mit der Zeit ändern kann (*National Research Council*, 2006, S. 19-21). Das Fehlen von Temperatur-Kalibrierungsdaten aus der Frühzeit führt dazu, dass der potenzielle systematische Fehler zunimmt, je weiter wir in die Vergangenheit gehen.

Diese Fehlerquellen, insbesondere die Datierungsfehler, schließen die Kombination der meisten Proxies zu einer Temperaturaufzeichnung aus. Wären die Temperaturfehler der Proxies zufällig und nicht systematisch aufgrund von Verzerrungen, könnte man eine Kombination in Erwägung ziehen, selbst unter Berücksichtigung von Datierungsproblemen. Aber selbst dann hätte die resultierende Aufzeichnung eine so grobe Auflösung, dass keine Erwärmungsrate berechnet werden könnte, die mit modernen instrumentellen Erwärmungsraten vergleichbar wäre. Die Idee, dass aktuelle Erwärmungsraten oder aktuelle Temperaturen im Vergleich zur Vergangenheit extrem sind, entbehrt jeder Grundlage (National Research Council, 2006, S. 20-21).

Zurück zu den Fragen am Anfang des Beitrags:

Ist die globale Durchschnittstemperatur eine nützliche Klimametrik? Diese Metrik gilt nur für globale Faktoren. CO₂, ob vom Menschen verursacht oder natürlich, könnte ein globaler Faktor sein, aber wir haben noch keinen Beweis dafür gesehen, dass sie groß genug ist, um erkannt oder gemessen zu werden. Der CO₂-Einfluss ist modelliert worden, mit [nicht validierten Modellen](#), aber man kann alles mit einem Modell machen, wenn man nicht beweisen muss, dass es funktioniert. Siehe [hier](#) für einen tieferen Blick auf die Probleme mit Klimamodellen. Natürliche Klimaeinflüsse sind regional. Vor 2005 für Oberflächendaten bzw. 1979 für Satellitendaten war die globale Abdeckung schlecht, was uns einen äußerst kurzen, aber genauen globalen Temperaturrekord bescherte. Er ist zu kurz, um globale Unterschiede aufgrund von CO₂ zu erkennen, die so gering sind, wie die IPCC-Modelle heute schätzen, nämlich etwa +3,4 W/m² über die letzten 150 Jahre ([IPCC AR5](#), S. 817-818).

Wie können wir die heutige globale oder hemisphärische Temperatur mit der Vergangenheit vergleichen? Wir können es nicht. Es gibt keine adäquaten Daten, weder in der instrumentellen Aufzeichnung noch in Proxies. Die beste Lösung ist, einzelne Proxies mit lokal gemessenen modernen Temperaturen zu vergleichen.

Mit den Daten, die wir haben, hat sich die Welt seit 1950 um schlappe 0,8°C und seit 2005 um 0,3°C erwärmt. In Texas schwankte die Temperatur gestern um einiges mehr als das. Es gibt gute Proxy-Aufzeichnungen, die weit in die Vergangenheit zurückreichen, und wir haben heute eine globale instrumentelle Erfassung der Oberflächen- und Meerestemperaturen. Warum sollte man versuchen, eine globale Temperatur aus spärlichen und ungenauen Proxies zu ermitteln? Warum wählt man nicht einen Proxy und berechnet eine moderne Temperatur für diesen Ort? Ich werde im nächsten Beitrag einige Beispiele zeigen.

Download the bibliography [here](#).

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2021/06/22/global-warming-is-happening-what-does-it-mean/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE