

Überschreitung (oder Nicht-Überschreitung) der Schwellenwerte von 1,5 und 2,0°C

geschrieben von Chris Frey | 30. Januar 2022

Judith Curry

„Die erste Regel des Klimaschachs lautet: Das Brett ist größer als wir denken und umfasst mehr als nur fossile Brennstoffe.“ – Jon Foley

Die Strategie zur Begrenzung der globalen Erwärmung ist direkt mit der Begrenzung der in die Atmosphäre ausgestoßenen CO₂-Menge verbunden. Die Emissionsziele sind ein Kernstück des Pariser UNFCCC-Abkommens. Ziel der Emissionsziele ist es, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2, vorzugsweise 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen (in der Regel der Basiszeitraum 1851-1900). Zum Vergleich: Bis zum Jahr 2020 ist es klimatisch um etwa 1,2°C wärmer geworden.

Unter Verwendung des mittleren Emissionsszenarios (SSP2-4.5) zeigen die begrenzten globalen Mitteltemperatur-Projektionen des IPCC AR6 eine 50 %ige Chance, dass der Schwellenwert von 1,5°C um 2030 und der Schwellenwert von 2°C um 2052 überschritten wird. Das Jahr, in dem die Schwellenwerte überschritten werden (2026-2042 für den 1,5°C-Grenzwert und 2038-2072 für den 2°C-Grenzwert), ist ungewiss, was vor allem auf die Bandbreite der Klimasensitivität gegenüber CO₂ in den verschiedenen Modellen zurückzuführen ist.

Dieser Beitrag veranschaulicht nun, wie die natürliche Klimavariabilität die Veränderung der globalen mittleren Oberflächentemperatur bis 2050 und damit den Zeitpunkt des Überschreitens der 1,5- und 2,0°C-Schwelle beeinflussen könnte. Insbesondere werden alternative Szenarien für Vulkanausbrüche, Sonnenvariabilität und interne Klimavariabilität betrachtet. Wenn die natürliche Klimavariabilität nicht realistisch berücksichtigt wird, besteht die Gefahr, dass kritische mögliche zukünftige Klimaergebnisse außer Acht gelassen werden, was zu einer Fehlanpassung führen könnte. Jedes der hier vorgestellten Szenarien ist zweifellos plausibler als die Szenarien mit hohen Emissionen RCP8.5/SSP4-8.5 [LINK](#). Weitere Informationen finden Sie auch in diesem früheren [Blogbeitrag](#).

Natürliche interne Variabilität

Schwankungen der globalen mittleren Oberflächentemperatur sind mit wiederkehrenden multidekadischen Schwankungen der großräumigen Ozeanzirkulationen verbunden. Wird die interne multidekadische Variabilität bei der Vorhersage der künftigen Erwärmung nicht

berücksichtigt, besteht die Gefahr, dass die Erwärmung für die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte überschätzt wird, wenn die atlantische multidekadische Oszillation voraussichtlich demnächst in ihre kalte Phase übergeht.

Die Klimamodelle simulieren zwar die großräumigen Ozeanzirkulationen und die interne Klimavariabilität, aber die Größenordnung im mehrdekadischen Bereich ist in den meisten Modellen zu gering, und die Phasen der Variabilität sind nicht mit den tatsächlichen, beobachteten Klimaschwankungen in den langfristigen Simulationen synchronisiert. Bei der Mittelwertbildung mehrerer Simulationen von Klimamodellen werden die internen Schwankungen effektiv herausgerechnet, so dass nur die erzwungene Klimavariabilität (z. B. der CO₂-Antrieb) übrig bleibt.

Maher et al. (2020) verwendeten sechs große Ensembles von Einzelmodell-Ausgangsbedingungen (SMILEs) für Simulationen des 21. Jahrhunderts und stellten fest, dass auf einer 15-Jahres-Skala die Projektionen der Temperaturtrends von der internen Variabilität dominiert werden, mit geringem Einfluss der strukturellen Modellunterschiede oder des Emissionsszenarios. Auf einer 30-Jahres-Skala spielen strukturelle Modellunterschiede und Unsicherheiten des Emissionsszenarios eine größere Rolle bei der Kontrolle der Projektionen der Temperaturtrends. Doch selbst bei Projektionen über dreißig Jahre hinaus könnte es im größten Teil des Globus' aufgrund interner Variabilität selbst bei fortgesetztem CO₂-Antrieb nicht wärmer werden.

Wird also die natürliche interne Variabilität im Zeitraum zwischen 2020 und 2050 zur Erwärmung oder Abkühlung im Vergleich zum zugrunde liegenden Erwärmungstrend aufgrund von Emissionen beitragen? Die meisten Analysen haben ergeben, dass die atlantische multidekadische Oszillation (AMO) die globalen Temperaturen auf multidekadischer Ebene am stärksten beeinflusst. Schätzungen zufolge hat die AMO einen Einfluss auf die globalen mittleren Temperaturen von 0,3 bis 0,4°C. Das Klima befindet sich seit 1995 in der warmen Phase der AMO; im Jahr 2021 sind also 26 Jahre seit der letzten Verschiebung vergangen. Die Analyse historischer und paläoklimatischer Aufzeichnungen deutet darauf hin, dass innerhalb der nächsten 12 Jahre (bis 2032) ein Wechsel in die kalte Phase der AMO stattfinden sollte, wobei eine 50 %ige Wahrscheinlichkeit besteht, dass der Wechsel in den nächsten 5 Jahren (bis 2026) stattfindet.

Zwar befinden wir uns derzeit in der warmen Phase der AMO, doch haben wir den Höhepunkt der warmen Phase bereits hinter uns. Daher betrachten wir die folgenden drei Szenarien für den Beitrag der multidekadischen internen Variabilität zur globalen mittleren Temperaturänderung im Durchschnitt des Zeitraums 2021-2050:

- Das Null-Szenario (0oC) geht davon aus, dass die multidekadische interne Variabilität keine Nettoauswirkungen auf die globale mittlere Temperatur hat, was in den begrenzten Projektionen des IPCC AR6 implizit enthalten ist.

- Das moderate Szenario ($-0,2^{\circ}\text{C}$) geht von einer Verschiebung in die kühle Phase der AMO in den 2030er Jahren mit mäßigen Auswirkungen aus;
- Das starke Szenario ($-0,3^{\circ}\text{C}$) geht von einem Übergang zur kühlen Phase der AMO in den 2020er Jahren mit stärkeren Auswirkungen aus.

Die Szenarien „Mäßig“ und „Stark“ beruhen auf der Annahme, dass die AMO die Haupttriebkraft der multidekadischen internen Klimavariabilität ist und dass im nächsten Jahrzehnt eine Verschiebung zur kalten Phase der AMO erwartet wird. Andere Facetten der multidekadischen und dekadischen internen Variabilität könnten in den nächsten drei Jahrzehnten zum Tragen kommen, aber diese Szenarien veranschaulichen die Größenordnung der plausiblen Ergebnisse in den nächsten drei Jahrzehnten.

Die hier vorgestellten Szenarien konzentrieren sich zwar auf die Abkühlung in den nächsten drei Jahrzehnten, aber es wird darauf hingewiesen, dass dieselbe Argumentation zu der Erwartung führt, dass die interne Variabilität in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zur Erwärmung beitragen wird.

Vulkane

Der instrumentelle Zeitraum der letzten 150 Jahre war in Bezug auf Vulkanausbrüche relativ ruhig, und daher ist es verlockend, dem potenziellen Vulkanismus eine untergeordnete Rolle bei künftigen Klimaprojektionen zuzuschreiben. In den letzten zwei Jahrtausenden gab es jedoch Perioden mit erheblich stärkerer vulkanischer Aktivität. Gruppen von starken tropischen Eruptionen haben zu anhaltenden Kälteperioden wie der Kleinen Eiszeit beigetragen.

Explosive Vulkane werden in den Szenarien für künftige Klimaprojektionen nicht berücksichtigt, da sie unvorhersehbar sind. Aufgrund des direkten Strahlungseffekts vulkanischer Aerosolpartikel, die in die Stratosphäre gelangen, führen große Vulkanausbrüche zu einem allgemeinen Rückgang der globalen mittleren Temperatur, der sich im Falle von mehreren großen Vulkanausbrüchen auf multidekadische oder sogar hundertjährige Zeiträume erstrecken kann (siehe IPCC AR6 Kapitel-übergreifender Kasten 4.1).

Explosive Vulkanausbrüche in der Größenordnung des Pinatubo-Ausbruchs von 1991 oder mehr haben sich in den letzten 2500 Jahren im Durchschnitt zweimal pro Jahrhundert ereignet. (Sigl et al., 2015). Etwa 8 extrem explosive Vulkanausbrüche (mehr als fünfmal stärker als der Pinatubo) ereigneten sich in diesem Zeitraum. Die größten davon sind der Samalas im Jahr 1257 und der Tambora im Jahr 1815, wobei letzterer zum „Jahr ohne Sommer“ mit Ernteaussfällen in der gesamten nördlichen Hemisphäre führte (Raible et al., 2016). Es wird geschätzt, dass eine Eruption vom Typ Samalas im Durchschnitt 1-2 Mal pro Jahrtausend auftreten kann.

Angesichts der Unvorhersehbarkeit einzelner Eruptionen wird in den CMIP5/CMIP6-Klimamodell-Simulationen der zukünftige vulkanische Antrieb entweder mit Null oder einem konstanten Hintergrundwert angegeben

(Eyring 2016). Der Hintergrundwert, der in den CMIP6-Simulationen verwendet wird, wurde aus den historischen Aufzeichnungen von 1850 geschätzt. Die von Klimamodellen ermittelten Hintergrundschätzungen der vulkanischen Abkühlung reichen von $0,10^{\circ}\text{C}$ (Bethke et al. 2017) bis $0,27^{\circ}\text{C}$ (Fyfe et al. 2021), wobei die Unterschiede auf strukturelle Unterschiede zwischen den Modellen zurückzuführen sind.

Der IPCC AR6 stellt fest, dass es wahrscheinlich zu mindestens einer großen Eruption während des 21. Jahrhunderts kommen wird. Der AR6 räumt ferner ein, dass ein Ergebnis mehrerer großer Eruptionen mit geringer Wahrscheinlichkeit und großen Auswirkungen den Klimapfad des 21. Jahrhunderts im Vergleich zu emissionsbasierten Projektionen stark verändern würde. (Querschnitt Kapitel Box 4.1) Wie stark könnten explosive Vulkanausbrüche im 21. Jahrhundert ausfallen? Eine Häufung explosiver Eruptionen wie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts hätte schätzungsweise eine Abkühlung von $0,5^{\circ}\text{C}$ im Durchschnitt über mehrere Jahrzehnte verursacht. (Abbildung 7.8 IPCC AR6)

In dieser Analyse werden drei Szenarien der vulkanischen Abkühlung für das 21. Jahrhundert betrachtet:

- Niedriges Basisszenario, entspricht einer schwachen Reaktion auf den durchschnittlichen vulkanischen Antrieb in der historischen Aufzeichnung seit 1850, schätzungsweise $-0,10^{\circ}\text{C}$;
- Hohes Basisszenario, geschätzt auf $-0,27^{\circ}\text{C}$;
- Extreme Vulkanausbrüche, analog zu den explosiven Eruptionen zwischen 1810 und 1840, die im Dekadenmittel eine Abkühlung von schätzungsweise $-0,5^{\circ}\text{C}$ verursacht haben

Solare Variationen

Eine detaillierte Analyse der Gründe für die Auswahl von Szenarien für solare Variationen wird in einem kürzlich erschienenen [Blogbeitrag](#) beschrieben.

Es gibt mehrere Gründe, die für eine geringere Sonnenaktivität im 21. Jahrhundert im Vergleich zum 20. Jahrhundert sprechen. Der kürzlich abgeschlossene Sonnenzyklus 24 war der schwächste Sonnenfleckenzyklus seit 100 Jahren und der dritte in einem Trend abnehmender Sonnenfleckenzyklen. Einige Sonnenphysiker erwarten, dass der Zyklus 25 noch schwächer ausfallen wird als Zyklus 24. Außerdem ist es wahrscheinlicher, dass auf ein großes Maximum ein großes Minimum folgt als ein weiteres großes Maximum. Empirisch gestützte Projektionen deuten auf ein neues Sonnenminimum hin, das 2002-2004 beginnt und 2063-2075 endet. Schätzungen zufolge besteht eine 8%ige Chance, dass die Sonne in den nächsten 40 Jahren in ein großes Minimum fällt. Die Tiefe und Länge einer Phase geringer Sonnenaktivität im 21. Jahrhundert ist jedoch weitgehend ungewiss.

Wenn die Sonne in der Mitte des 21. Jahrhunderts in ein Minimum von der Größenordnung des Maunder-Minimums fallen würde, wie viel Abkühlung könnten wir dann erwarten? Schätzungen von Klimamodellen und anderen analytischen Modellen gehen davon aus, dass die Abkühlung gering sein wird und zwischen 0,09 und 0,3 °C liegt. Diese Modelle gehen davon aus, dass die Wechselwirkung zwischen Sonne und Klima auf den TSI-Antrieb allein beschränkt ist.

Jüngste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass die indirekten Auswirkungen der Sonne eine Anomalie der Sonneneinstrahlung um einen Faktor von bis zu 3-7 verstärken könnten. Wird ein solcher Verstärkungsfaktor berücksichtigt, könnte ein Rückgang der Oberflächentemperatur um bis zu 1°C (oder sogar mehr) gegenüber einem Maunder-Minimum eintreten.

In Anbetracht dieser Überlegungen werden hier drei Szenarien für die Sonnenvariabilität in der Mitte des 21. Jahrhunderts betrachtet:

- CMIP6-Referenzszenario: etwa -0,1°C
- Zwischenszenario: -0,3°C, entspricht einer hohen Maunder-Minimum-Schätzung ohne Verstärkungseffekte oder einem schwächeren Minimum mit Verstärkungseffekten.
- Hoch: -0,6°C, ein Szenario mit geringer Sonneneinstrahlung (kein Maunder-Minimum) mit Verstärkung durch indirekte Sonneneffekte.

Globale Temperatur-Projektionen bis zum Jahr 2050

Synthetische Szenarien, die auf historischen und Paläodaten, Klimamodellergebnissen, Prozessmodellen und auf physikalischen Überlegungen basierenden Storylines aufbauen, bieten ein breiteres Spektrum an Ergebnisszenarien als globale Klimamodellsimulationen, insbesondere im Hinblick auf die natürliche Klimavariabilität.

Die in den vorangegangenen Unterabschnitten vorgestellten Szenarien werden hier integriert, um zu bewerten, wie die natürliche Klimavariabilität unsere Erwartungen für das Ausmaß der bis 2050 erwarteten Erwärmung verändern könnte, insbesondere die Jahre, in denen die Schwellenwerte von 1,5 und 2,0 °C überschritten werden. Alle hier betrachteten Szenarien der natürlichen Variabilität deuten auf eine Abkühlung bis 2050 hin, was in den vorangegangenen Unterabschnitten begründet wurde.

In dieser [Analyse](#) wird das Emissionsszenario SSP2-4.5 als das wahrscheinlichste Szenario bis 2050 angenommen, basierend auf Analysen der IEA.

Die endgültige integrale Temperaturänderung ist die Summe der Temperaturänderungen, die durch folgende Faktoren verursacht werden:

- SSP2-4.5-Emissionen – 3 Szenarien, die den wahrscheinlichen AR6-Bereich abdecken (+1,6, +2,0, +2,5°C), bezogen auf den Basiszeitraum 1851-1900
- Vulkane – 3 Szenarien relativ zu einer nominalen Basislinie von -0,1°C in den CMIP6-Simulationen (0, -0,17, -0,4°C), bezogen auf eine Basislinie von 2020
- Sonneneinstrahlung – 3 Szenarien im Verhältnis zu einer nominalen Basislinie von -0,1 °C in den CMIP6-Simulationen (0, -0,2, -0,5 °C), bezogen auf eine Basislinie von 2020
- Natürliche interne Variabilität – 3 Szenarien (0, -0,2, -0,3 °C), bezogen auf eine Ausgangsbasis von 2020

Mit vier Quellen von Variablen und drei Szenarien für jede Variable können wir insgesamt 81 Szenarien erstellen, indem wir Kombinationen von Szenario-Inputs für die einzelnen Variablen hinzufügen. Drei dieser Ergebnisszenarien entsprechen direkt den AR6-Werten, die mit SSP2-4.5 verbunden sind, während die anderen eine Kombination der Szenarien der natürlichen Klimavariabilität beinhalten.

Abbildung 1 zeigt ein Histogramm der 81 verschiedenen Szenario-Ergebnisse. Die Häufigkeit der Ergebnisse ist auf der y-Achse angegeben. Als Referenz liegt die Temperatur im Jahr 2020 um 1,2°C über der Basislinie von 1851-1900, was durch die rote vertikale Linie angezeigt wird. Das Szenario mit der stärksten Erwärmung liegt bei 2,5°C, was der oberen Grenze der wahrscheinlichen Spanne aus dem AR6 entspricht (ohne zusätzliche Auswirkungen der natürlichen Variabilität). Das Szenario mit der geringsten Erwärmung beträgt 0,4°C, was der unteren Grenze der wahrscheinlichen Bandbreite des AR6 mit dem extremsten Szenario für jede der Komponenten der natürlichen Variabilität entspricht – dieses Szenario mit extremem Ergebnis für 2050 ist 0,8°C kühler als die Temperatur im Jahr 2020.

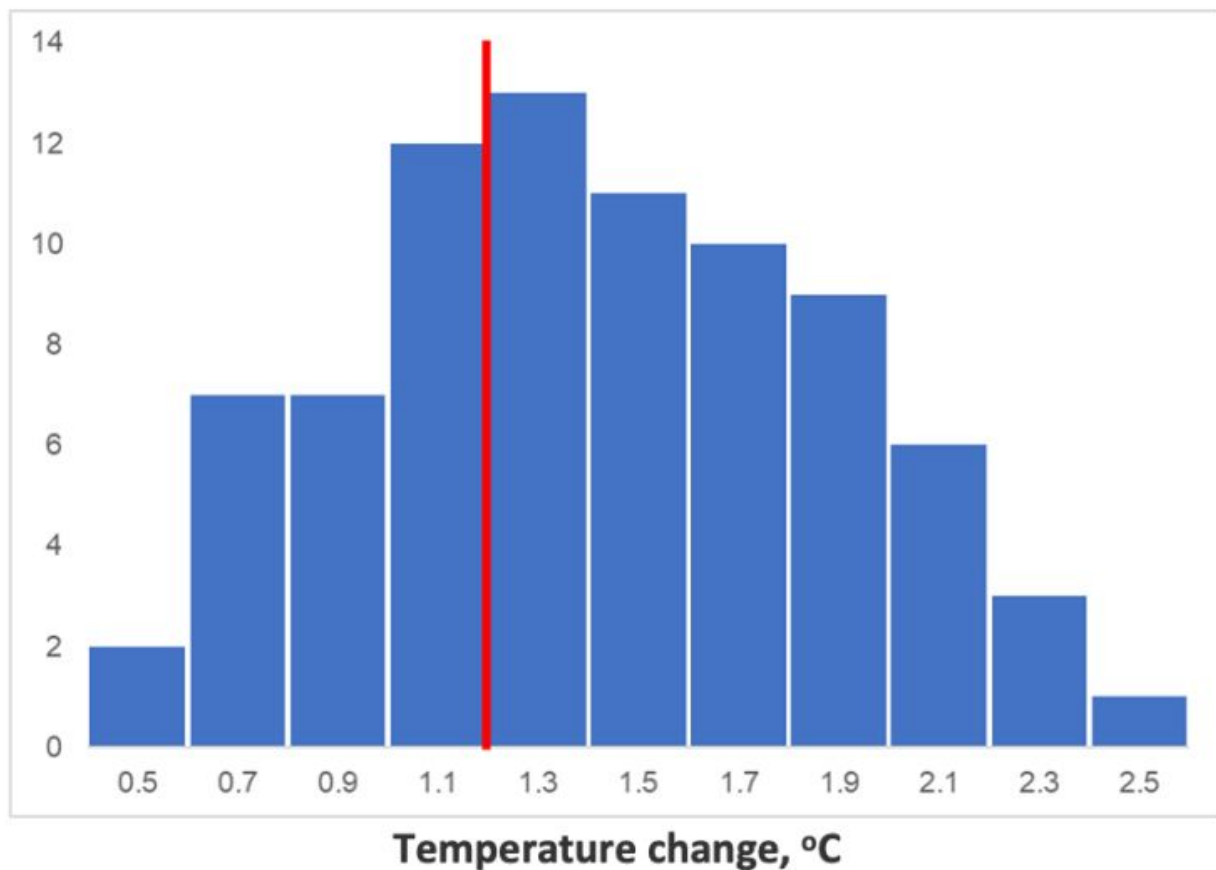


Abbildung: Verteilung der Szenarien der globalen Temperaturveränderung für 2050, bezogen auf eine Basislinie von 1851-1900. Die vertikale rote Linie entspricht 1,2°C, was der Erwärmung bis 2020 entspricht. Die y-Achse zeigt die Häufigkeit der Ergebnisse, basierend auf 81 Szenarien.

Die Angabe von Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Ergebnisse ist kaum zu rechtfertigen. Zwar ist jedes dieser Szenarien durchaus plausibel, doch spiegelt die Verteilung der Ergebnisse in Abbildung 1 in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse wider. Sind einige dieser Szenarien wahrscheinlicher als andere? Die Auswahl des mittleren Szenarios für jede Variable führt zu einem Ergebnisszenario von +1,43°C, was bedeutet, dass wir die 1,5°C-Schwelle nicht vor 2050 überschreiten würden (im Vergleich zu einem erwarteten Überschreiten um 2030 bei Verwendung der besten AR6-Schätzung für SSP2-4.5). Aus Abbildung 1 geht hervor, dass es für die Zwischenergebnisse des Szenarios zwischen 1,0 und 2,0°C mehrere Wege zu denselben Temperaturergebnissen gibt, was für eine größere Wahrscheinlichkeit dieser Zwischenergebnisse spricht. Die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit der einzelnen Ergebnisse hängt jedoch von der Bewertung der Wahrscheinlichkeit der einzelnen Input-Szenarien ab.

Alle Komponenten der natürlichen Variabilität deuten auf eine Abkühlung im Zeitraum 2020-2050 hin. Einzeln betrachtet werden diese Komponenten in den gemäßigten Szenarien voraussichtlich nicht sehr groß sein. In der Summe jedoch nähert sich ihr Ausmaß dem Ausmaß der emissionsbedingten

Erwärmung in den nächsten drei Jahrzehnten an oder könnte es sogar übersteigen. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle drei Komponenten der natürlichen Variabilität bis 2050 auf dem Niveau der IPCC-Basiswerte bleiben, erscheint mir gering.

Studien, die globale Klimamodelle verwenden, um die Wahrscheinlichkeit zu bewerten, dass die Jahrzehnte des 21. Jahrhunderts durch eine Nettoabkühlung gekennzeichnet sind, haben sich meist nur auf die natürliche interne Variabilität konzentriert (Maher et al. 2020, Knutson et al. 2016), mit einer einzigen mir bekannten Studie, die Vulkanausbrüche plus interne Variabilität berücksichtigt (Bethke et al. 2017). Die vulkanisch bedingte Abkühlung wird zunehmend wichtiger, um neutrale oder negative Temperaturentrends auf längeren Zeitskalen in Verbindung mit natürlichen Effekten der internen Variabilität zu ermöglichen. Mehrere Studien haben sich mit der Kombination aus interner und solarer Variabilität befasst. Abgesehen von dem „Joker“ der Vulkanausbrüche sind die großen Unsicherheiten die indirekten solaren Effekte. Die wachsende Wahrscheinlichkeit eines solaren Minimums von einigem Ausmaß in der Mitte des 21. Jahrhunderts unterstreicht die Notwendigkeit einer Lösung der Debatte über die Rekonstruktion der Sonnenvariabilität im Vergleich zur hohen Variabilität und ein besseres Verständnis der indirekten solaren Effekte.

Unter dem Strich ist die Unsicherheit bei den globalen Temperaturprojektionen bis 2050 zu niedrigeren Werten hin verschoben, da die Unsicherheit bei den kurzfristigen Emissionsszenarien abnimmt. Das Zusammentreffen von kühlenden Beiträgen der Sonne, der Vulkane und der natürlichen internen Variabilität im Zeitraum 2020-2050 könnte den Zeithorizont, in dem die globale mittlere Oberflächentemperatur unter den Schwellenwerten von 1,5 und 2,0°C gehalten werden kann, um Jahrzehnte verlängern. Diese Verlängerung hat wichtige Auswirkungen auf die Dringlichkeit von Emissionssenkungen und die Planung von Geoengineering-Maßnahmen.

Die Ziele von 1,5 und 2°C sind leicht zu messen und zu kommunizieren und haben sich als wirksam erwiesen, um politischen Willen und öffentliche Unterstützung zu wecken. Diese Ziele sind jedoch vage Annäherungen an einige der Gefahren des Klimawandels und geben die Art der wissenschaftlichen Erkenntnisse, auf denen diese Zahlen angeblich beruhen, falsch wieder. (Hulme, Fetischisierung der Zahlen) Diese Ziele sind wohl zu einem „Fetisch“ geworden, der unsere Vorstellung von der klimatischen Zukunft übermäßig beeinflusst, unsere politischen Optionen einschränkt und unsere Politikgestaltung lenkt. Darüber hinaus fördern diese Ziele die Zielverschiebung (Jerry Muller, The Tyranny of Metrics), die eintritt, wenn sich die Aufmerksamkeit auf das Erreichen des Ziels konzentriert, während die wahren Gründe, warum wir uns überhaupt um den Klimawandel sorgen – das Wohlergehen der Menschen und der Ökosysteme – verdeckt werden.

Link:

<https://judithcurry.com/2022/01/23/crossing-or-not-the-1-5-and-2-0c-thresholds/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE