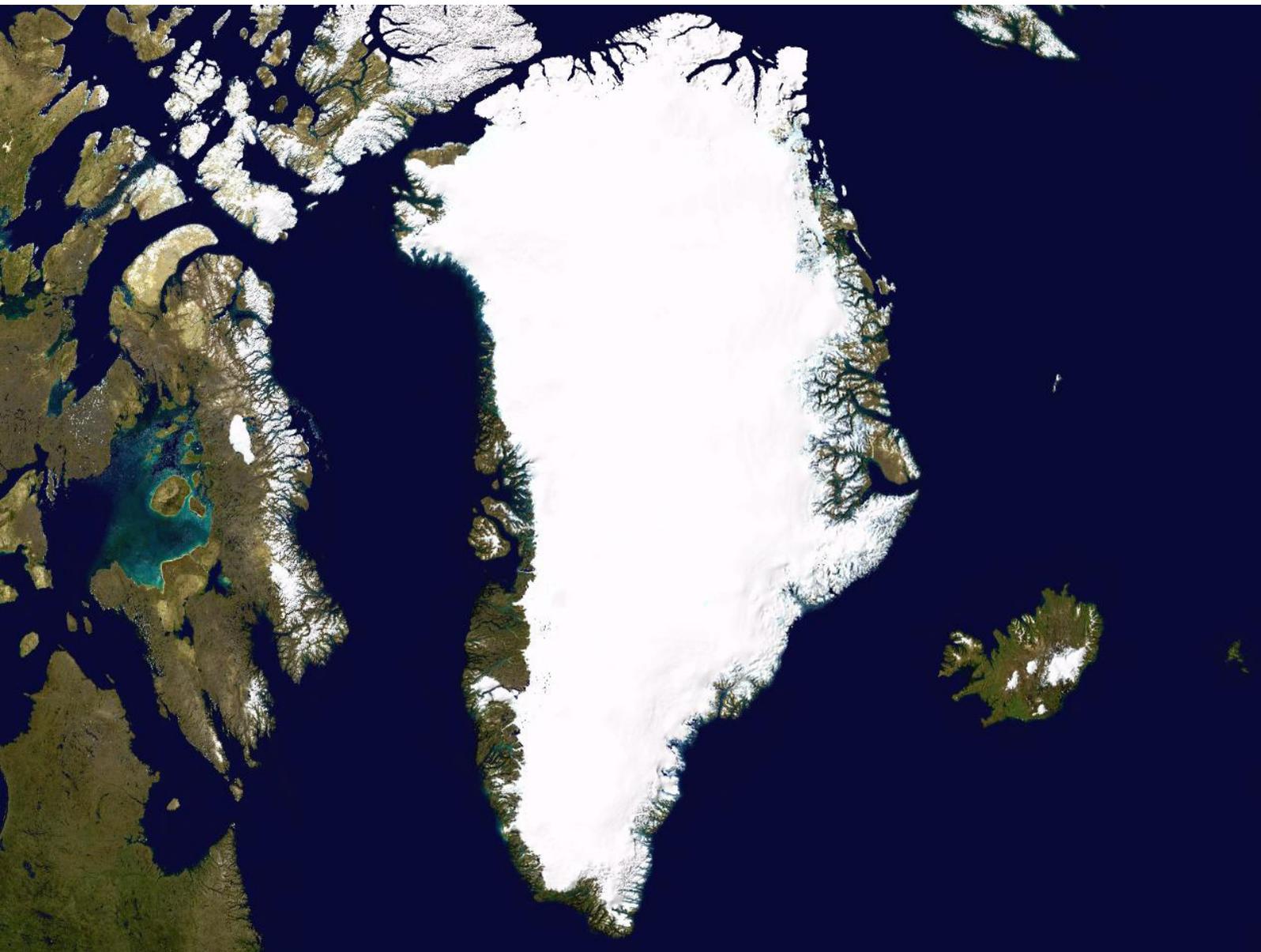


Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V.

Klima-Kipppunkte – eine Einordnung



DMG

Deutsche Meteorologische Gesellschaft



Klima-Kipppunkte – eine Einordnung

ANDREAS HENSE, JOHANNES QUAAS, MARTIN CLAUSSEN, JOCHEM MAROTZKE, CLEMENS SIMMER

Bereits 1856 hatte die Amerikanerin Eunice Foote als erste nachgewiesen, dass die Gase Wasserdampf und Kohlendioxyd (CO₂) Wärmestrahlung absorbieren und emittieren können, und sie vermutete, dass eine Erhöhung des CO₂-Gehalts der Luft zu einer globalen Erwärmung führen könne. Doch erst mit der systematischen Messung der CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre, der Entwicklung ausgefeilter Klimamodelle und der Möglichkeit, Änderungen im komplexen Klimasystem der Erde statistisch sicher nachweisen zu können – wofür Klaus Hasselmann und Syukuro Manabe 2021 den Nobelpreis für Physik erhalten haben – konnte zweifelsfrei gezeigt werden, dass der Mensch das globale Klima ändert. Noch 1995 wurde im 2. Sachstandsbericht des IPCC (Weltklimarat) vorsichtig formuliert, dass nach Abwägung aller Befunde ein menschlicher Einfluss auf das Klima erkennbar ist. Im 5. Sachstandsbericht des IPCC, der 2013 erschien, hieß es dann: „Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar.“ In Paris wurde daraufhin 2015 von allen 195 beteiligten Staaten ein völkerrechtlich verbindlicher Vertrag geschlossen, der eine Begrenzung der menschengemachten globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten fordert. Trotz aller solider wissenschaftlicher Erkenntnisse wird in einigen sozialen Netzwerken und sogar von im Bundestag vertretenen Parteien die Erkenntnis des menschengemachten Klimawandels nach wie vor in Zweifel gezogen oder die Notwendigkeit tiefgreifender Maßnahmen zur Verminderung von CO₂-Emissionen und zur Anpassung an den Klimawandel bestritten. Junge Menschen, insbesondere die „Fridays for Future“-Bewegung, sind daher mit Recht besorgt um ihre Zukunft.

Der Leugnung des menschengemachten Klimawandels steht mittlerweile allerdings auch eine teils ins umgekehrte Extrem driftende Klima-Angst entgegen. So geht etwa die Bewegung „Letzte Generation“ davon aus, dass die Menschheit "noch zwei bis drei Jahre" habe, in denen sie "den fossilen Pfad der Vernichtung noch verlassen" könne, und sie daher die letzte Generation sei, "die den völligen Erdzusammenbruch noch aufhalten kann" (letztegeneration.org abgerufen am 14.1.2024). Diese Angst ist nachvollziehbar, aber die dort vermuteten Ursachen im Klimasystem sind derzeit wissenschaftlich nicht belegbar. In der öffentlichen Wahrnehmung spielen hierbei sogenannte Klima-Kipppunkte eine prominente Rolle; diese werden meist als Schwellenwerte der globalen Temperatur verstanden, bei deren Überschreitung sich Teile unseres Klimasystems, die als Kippelemente bezeichnet werden, grundlegend ändern. Ein Erliegen der Nordatlantik-Zirkulation („Golfstrom“), das vollständige Schmelzen der Eisschilde auf Grönland und der Antarktis, die plötzliche Freisetzung enormer Mengen Methangases aus den Permafrost-Regionen oder das großflächige Absterben des Amazonas-Regenwaldes werden hier als möglicherweise unmittelbar bevorstehende Ereignisse verstanden. Auch wenn solche Veränderungen grundsätzlich möglich sind, können die Wahrscheinlichkeiten für deren Eintritt zurzeit kaum zuverlässig abgeschätzt werden. Die damit verbundene Alarmstimmung erscheint uns daher als wenig hilfreich oder gar schädlich für die Beförderung dringend notwendiger und wirkungsvoller Maßnahmen zur Stabilisierung des Klimas und der Anpassung an den Klimawandel. Wir möchten mit dieser Einordnung einer Fehlleitung der öffentlichen Wahrnehmung der wissenschaftlichen Diskussion um Kipppunkte entgegenwirken.



Das Verständnis des Begriffs Klima-Kipppunkt in der Öffentlichkeit und auch in der Wissenschaft außerhalb der Klimawissenschaft geht von vier Annahmen aus: (1) Der Kipppunkt kann in wenigen Jahren erreicht werden. (2) Innerhalb weniger Generationen führt dies zu einem völlig anderen Zustand

des betroffenen Klimatelements – des Kippelements. (3) Das Kippen ist unumkehrbar. (4) Das Kippelement ist relevant für das globale Klimasystem. Diese Punkte müssen für angeführte Kippelemente wissenschaftlich-kritisch beleuchtet werden, bevor sie ggf. als Argumente für unser Handeln dienen können. Dabei reden wir keiner „Entwarnung“ bezüglich des voranschreitenden, vom Menschen verursachten Klimawandels das Wort, denn der menschengemachte Klimawandel ist eine Tatsache und dessen Begrenzung dringend notwendig zum Schutz des Menschen und der Natur.

Was ist ein Klima-Kipppunkt und was ist ein Klima-Kippelement?

Zu den Begriffen Kipppunkt und Kippelement gibt es in der Literatur viele, ähnlich lautende, aber zum Teil leicht abweichende Definitionen. Nach dem aktuellen 6. Sachstandsbericht des IPCC bezeichnet Kipppunkt einen kritischen Schwellenwert im Zustand eines Kippelements. Wird dieser Schwellenwert überschritten, reorganisiert sich das betroffene Kippelement und geht in einen anderen Zustand über, was abrupt und/oder unumkehrbar erfolgen kann, aber nicht muss (Lenton et al., 2008) Kippelemente könnten die eingangs erwähnten Teile des Klimasystems sein, wie die ozeanische Umwälzzirkulation („Golfstrom“) und Eisschilde. Welche Änderungen als abrupt oder graduell, umkehrbar oder unumkehrbar gelten, muss definiert werden. So werden im 6. Sachstandsbericht Klimaänderungen als abrupt bezeichnet, wenn sie innerhalb weniger Jahrzehnte geschehen, mindestens einige Dekaden andauern und zu substantziellen Auswirkungen in menschlichen oder natürlichen Systemen führen. Verschiedenste Klimabeobachtungen auf regionalen Skalen zeigen allerdings auch abrupte Änderungen zwischen zwei deutlich zu unterscheidenden, mittleren Verhältnissen auf wesentlich kleineren Zeitskalen.

Der Begriff Kipppunkt kommt ursprünglich aus der Soziologie. Ende der 1950er Jahre wurde in sozialwissenschaftlichen Untersuchungen die Migration der Bevölkerung europäischer Abstammung aus den Bezirken großer US-amerikanischer Städte als Kippverhalten beschrieben. Mit der Veröffentlichung des Buches „Tipping point – wie kleine Dinge Großes bewirken können“ von Malcolm Gladwell im Jahr 2000 wurde der Begriff sehr populär und erhielt 2005 nach einem Workshop in Berlin zum Thema Klimakipppunkte sowie dem daraus folgenden Aufsatz von Lenton et al. (2008) Einzug in die Klimawissenschaften. Das Konzept des Kippens des Klimasystems oder von Teilen davon ist dabei nicht neu. Bereits in den 1960er Jahren entdeckten Michail Budyko und William Sellers in ihren Klimamodellen, dass unser Klimasystem sehr empfindlich auf kleine Störungen der Sonneneinstrahlung reagieren kann und von einem gegenwärtigen Klimazustand rasch in einen vollkommen vereisten Zustand – der sogenannte Schneeballerde – fallen könne. Damals wurde dies von Budyko als „Klimakatastrophe“ bezeichnet – in Anlehnung an die mathematische Katastrophentheorie, die ebenfalls in den 1960er Jahren von René Thom, Vladimir Arnold und anderen entwickelt wurde. Abrupte Änderungen der ozeanischen Umwälzbewegung, ausgelöst durch Änderungen der atmosphärischen Süßwasserzufuhr, wurden ebenfalls bereits in den 1960'ern durch Henry Stommel beschrieben.



Die Klimawissenschaft bemüht sich seither darum, verlässliche und mittlerweile durch Messungen auch nachprüfbar Prognosen für die kommenden Jahrzehnte zu liefern; ihre Projektionen aus den 1980er und 1990er Jahren sind wie vorhergesagt eingetroffen. Die heute vorliegenden Simulationen für die kommenden Jahrzehnte zeigen dramatische Auswirkungen des sich erwärmenden Klimas, aber darunter keine großflächigen Auswirkungen durch das Überschreiten von Kippunkten. Ein kürzlich erschienener Übersichtsartikel von Wang et al. (Reviews of Geophysics, 2023) analysiert den Stand der Wissenschaft zu den wesentlichen Klima-Kippunkten. Konsistent mit den Aussagen des 2021

erschienenen Berichts des Weltklimarats wird dargelegt, dass es in diesem Jahrhundert wahrscheinlich nicht zu erwarten ist, Kippunkte im obigen Sinne zu erreichen.

Potenzielle Auswirkungen des belegten menschengemachten Klimawandels

Wichtiger erscheint uns daher zu betonen, dass bereits verhältnismäßig geringe Erwärmungen langfristig einschneidende Klimaänderungen hervorrufen können. So ist das Abschmelzen des grönländischen Eisschildes über einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren schon bei einer Erwärmung von etwa 3°C über dem vorindustriellen Zustand wahrscheinlich, die ohne substanzielle Klimaschutzmaßnahmen dieses Jahrhundert erreicht werden würde. Im Verlauf dieses Abschmelzvorgangs resultieren daraus dramatische Auswirkungen durch einen Anstieg des Meeresspiegels um etwa sieben Meter. Auch weitere Rodungen des Regenwalds im Amazonasgebiet können zu lokalen Klimaänderungen führen, die diesen Regenwald und damit das globale Klima spürbar ändern und dies je nach Intensität der Rodung bereits in diesem Jahrhundert.

Grundsätzlich hat aber die laufende, eher graduelle Klimaänderung bereits dramatische Konsequenzen für die Menschheit, insbesondere in den Regionen des globalen Südens. Um diese Änderung wirksam einzudämmen, bedarf es konsequenten Handelns aller relevanten Akteure und keiner weiteren Dramatisierung des Konzeptes der Kippunkte.

Literatur

Arnold, V. I., Afrajmovich, V. S., Il'yashenko, Y. S., Shil'nikov, L. P. (1994): Dynamical systems V: bifurcation theory and catastrophe theory (Encyclopaedia of Mathematical Sciences, Vol. 5), Springer, 283pp, ISBN 3540181733

Budyko, M. I. (1969): The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth, *Tellus*, 21(5), 611-619.

Foote, E., (1856): ART. XXXI.--Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays: (Read before the American Association, August 23d, 1856.). *American Journal of Science and Arts* (1820-1879), 22, 382-383.

Gladwell, M. (2000): *The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference*, Little, Brown and Company, 288pp, ISBN 9780316316965



- Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J. P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J. C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future global climate: Scenario-based projections and near-term information. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 553–672.
- Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1786-1793.
- Thom, R. (1977): Structural stability, catastrophe theory, and applied mathematics. *SIAM Review*, 19(2), 189-201.
- Sellers, W. D. (1969): A global climatic model based on the energy balance of the earth-atmosphere system. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 8(3), 392-400.
- Stommel, H. (1961): Thermohaline convection with two stable regimes of flow. *Tellus*, 13(2), 224-230.
- Wang, S., Foster, A., Lenz, E. A., Kessler, J. D., Stroeve, J. C., Anderson, L. O., Turetsky M., Betts, R., Sijia Zou, Wei Liu, Boos, W.R., Hausfather, Z. (2023): Mechanisms and impacts of Earth system tipping elements. *Reviews of Geophysics*, 61(1), e2021RG000757, <https://doi.org/10.1029/2021RG000757>