

Übersetzung des nature Artikels vom 27.11.2019:

# Climate tipping points — too risky to bet against

---

Von

[Timothy M. Lenton](#), Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen & Hans Joachim Schellnhuber

Politiker, Ökonomen und sogar einige Naturwissenschaftler gehen tendenziell davon aus, dass Kipppunkte im Erdsystem - wie der Verlust des Amazonas-Regenwaldes oder des westantarktischen Eisschildes - von geringer Wahrscheinlichkeit und wenig verstanden sind. Dennoch mehren sich die Hinweise, dass diese Ereignisse wahrscheinlicher sein könnten, als bisher angenommen, große Auswirkungen haben und über verschiedene biophysikalische Systeme hinweg miteinander verbunden sind, was möglicherweise zu langfristigen, irreversiblen Veränderungen führen könnte.

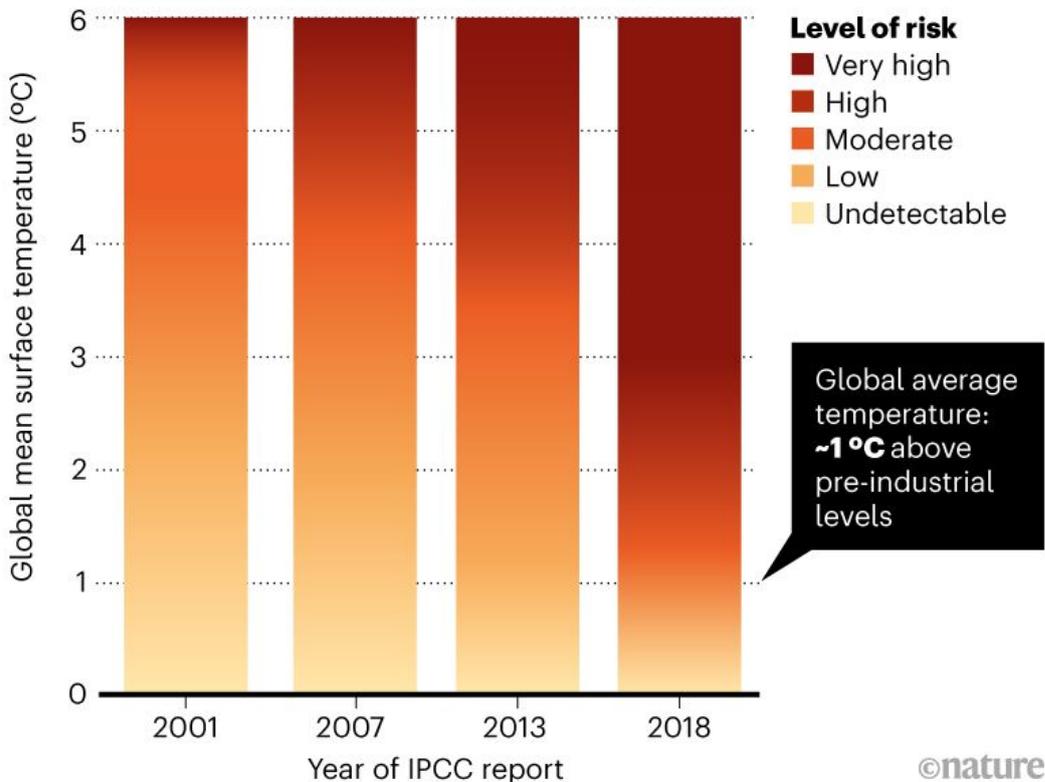
Hier fassen wir die Erkenntnisse über die Gefahr der Überschreitung von Kipppunkten zusammen, identifizieren Wissenslücken und schlagen vor, wie diese geschlossen werden können. Wir untersuchen die Auswirkungen solcher großen Veränderungen, wie schnell sie sich entfalten können und ob wir noch die Kontrolle darüber haben.

Unserer Meinung nach trägt die Berücksichtigung von Kipppunkten dazu bei, zu definieren, dass wir uns in einer Klima-Notlage befinden, und stärkt den diesjährigen Chor der Forderungen nach dringenden Klimaschutzmaßnahmen - von Schülern über Wissenschaftler bis hin zu Städten und Ländern.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat vor zwei Jahrzehnten die Idee von Kipppunkten eingeführt. Damals wurden diese "großen Diskontinuitäten" im Klimasystem nur dann als wahrscheinlich angesehen, wenn die globale Erwärmung 5 °C über dem vorindustriellen Niveau liegt. Die in den beiden jüngsten IPCC-Sonderberichten (veröffentlicht 2018 und im September dieses Jahres) zusammengefassten Informationen deuten darauf hin, dass die Kipppunkte sogar zwischen 1 und 2 °C Erwärmung überschritten werden könnten (siehe Abbildung).

## TOO CLOSE FOR COMFORT

Abrupt and irreversible changes in the climate system have become a higher risk at lower global average temperatures.



Quelle: IPCC

Wenn die derzeitigen nationalen Verpflichtungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen umgesetzt werden - und das ist ein großes "Wenn" -, werden sie wahrscheinlich zu einer globalen Erwärmung von mindestens 3 °C führen. Dies geschieht trotz des Ziels der Pariser Vereinbarung von 2015, die Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Einige Ökonomen, die davon ausgehen, dass Klima-Kippunkte sehr unwahrscheinlich sind (auch wenn sie katastrophal wären), haben empfohlen, dass eine Erwärmung von 3 °C aus Kosten-Nutzen-Sicht optimal sei. Wenn jedoch Kippunkte wahrscheinlicher scheinen, dann stimmt diese Empfehlung eines einfachen Kosten-Nutzen Klima-Wirtschaftsmodells mit denen des jüngsten IPCC-Berichts überein. Mit anderen Worten, die Erwärmung muss auf 1,5 °C begrenzt werden. Dies erfordert Notfallmaßnahmen.

## Eiskollaps

Wir sind der Meinung, dass mehrere Kryosphärenkipppunkte gefährlich nahe sind, aber die Verringerung der Treibhausgasemissionen könnte immer noch die unvermeidliche Häufung von Folgen verlangsamen und uns bei der Anpassung helfen.

Forschungen des letzten Jahrzehnts haben gezeigt, dass die Verankerung der Westantarktis durch das Amundsenmeer einen Kippunkt überschritten haben könnte: die "Bodenlinie", an der sich Eis, Ozean und Untergrund treffen, zieht sich unwiderruflich zurück. Eine Modellstudie zeigt, dass dieser Sektor, wenn er zusammenbricht, den Rest des Eisschildes der Westantarktis destabilisieren könnte, wie das Umkippen von Dominosteinen - was zu einem Anstieg des Meeresspiegels von etwa 3

Metern in einer Zeitspanne von Jahrhunderten bis Jahrtausenden führte. Paläoevidenz zeigt, dass ein so großflächiger Zusammenbruch des Eisschildes der Westantarktis in der Vergangenheit wiederholt stattgefunden hat.

Die neuesten Daten zeigen, dass ein Teil des ostantarktischen Eisschildes - das Wilkes-Becken - ähnlich instabil sein könnte. Modellrechnungen deuten darauf hin, dass sie den Meeresspiegel in einem Zeitraum von über einem Jahrhundert um weitere 3-4 m erhöhen könnten.

Der grönländische Eisschild schmilzt mit zunehmender Geschwindigkeit. Er könnte den Meeresspiegel über Tausende von Jahren um weitere 7 Meter erhöhen, falls eine bestimmte Schwelle überschritten wird. Wenn die Höhe des Eises sinkt, schmilzt es weiter und setzt die Oberfläche immer wärmerer Luft aus. Modelle deuten darauf hin, dass der grönländische Eisschild bereits bei 1,5 °C Erwärmung, die bereits 2030 eintreten könnte, zum vollständigen Abschmelzen verdammt sein könnte.

So haben wir bereits jetzt vielleicht zukünftige Generationen dazu gezwungen, mit einem Meeresspiegelanstieg von rund 10 m im Laufe von Jahrtausenden zu leben. Aber dieser Zeitrahmen liegt immer noch in unserer Hand. Die Schmelzgeschwindigkeit hängt von der Erwärmung oberhalb des Kippunktes ab. Bei 1,5 °C könnte es 10.000 Jahre dauern, bei über 2 °C hingegen nur noch weniger als 1.000 Jahre. Forscher benötigen mehr Beobachtungsdaten, um festzustellen, ob Eisschilde einen Kippunkt erreichen, und benötigen bessere Modelle, die durch vergangene und aktuelle Daten bestimmt sind, um zu entscheiden, wie schnell und wie schnell die Eisschilde zusammenbrechen könnten.

Was auch immer diese Daten aufzeigen mögen, es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um den Anstieg des Meeresspiegels zu verlangsamen. Dies wird die Anpassung erleichtern, einschließlich der eventuellen Umsiedlung großer, niedrig gelegener Bevölkerungszentren.

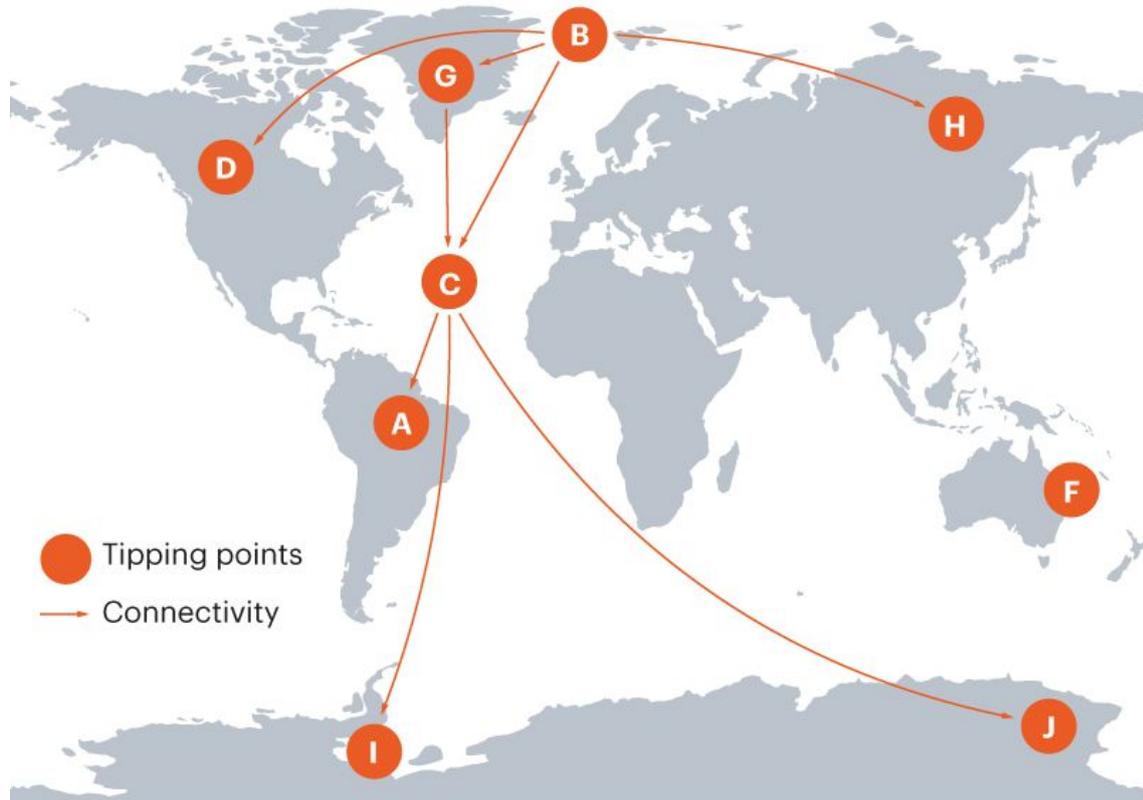
Ein weiterer wichtiger Impuls zur Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C ist, dass bei niedriger Erderwärmung bereits andere Kippunkte ausgelöst werden können. Die neuesten IPCC-Modelle projizierten eine Reihe abrupter Veränderungen zwischen 1,5 °C und 2 °C, von denen einige das Meereis betreffen. Dieses Eis schrumpft in der Arktis bereits rapide, was darauf hindeutet, dass die Region bei einer Erwärmung von 2 °C eine Chance von 10-35% hat, im Sommer weitgehend eisfrei zu werden.

## Biosphären-Grenzen

Der Klimawandel und andere menschliche Aktivitäten drohen, Biosphärenkipppunkte in einer Vielzahl von Ökosystemen und Größenordnungen auszulösen (siehe "Alarm auslösen").

### RAISING THE ALARM

Evidence that tipping points are under way has mounted in the past decade. Domino effects have also been proposed.



**A. Amazon rainforest**  
Frequent droughts

**B. Arctic sea ice**  
Reduction in area

**C. Atlantic circulation**  
In slowdown since 1950s

**D. Boreal forest**  
Fires and pests changing

**F. Coral reefs**  
Large-scale die-offs

**G. Greenland ice sheet**  
Ice loss accelerating

**H. Permafrost**  
Thawing

**I. West Antarctic ice sheet**  
Ice loss accelerating

**J. Wilkes Basin, East Antarctica**  
Ice loss accelerating

©nature

Quelle: T. M. Lenton et al.

Meereshitzwellen haben zu einem massenhaften Bleichen der Korallen und zum Verlust der Hälfte der Flachwasserkorallen am Great Barrier Reef Australiens geführt. Es wird damit gerechnet, dass ganze 99% der tropischen Korallen verloren gehen, wenn die globale Durchschnittstemperatur um 2 °C steigt, was auf Wechselwirkungen zwischen Erwärmung, Versauerung und Verschmutzung zurückzuführen ist. Dies würde einen tiefgreifenden Verlust der marinen Biodiversität und der menschlichen Lebensgrundlagen bedeuten.

Biosphären-Kipppunkte gefährden nicht nur unsere Lebensgrundlage, sie können auch eine abrupte Freisetzung von Kohlenstoff in die Atmosphäre auslösen. Auf diese Weise kann der Klimawandel noch verstärkt und das noch verbleibende Emissionsbudget reduziert werden.

Abholzung und der Klimawandel destabilisieren den Amazonas - den größten Regenwald der Erde, in dem jede zehnte bekannte Art lebt. Schätzungen, wo ein Amazonas-Kipppunkt liegen könnte, reichen von 40% Entwaldung bis hin zu nur 20% Waldverlusten. Etwa 17% sind seit 1970 verloren gegangen. Die Abholzungsrate variiert je nach Politikänderung. Um den Kipppunkt zu bestimmen, sind Modelle erforderlich, die Entwaldung und Klimawandel als interagierende Faktoren einbeziehen, und die Feuer- und Klimafeedbacks als wechselwirkende Kippmechanismen maßstabübergreifend berücksichtigen.

Da sich die Arktis mindestens doppelt so schnell erwärmt wie der globale Durchschnitt, werden die borealen Wälder in der Subarktis zunehmend verwundbarer. Die Erwärmung hat bereits zu großflächigen Insektenstörungen und einer Zunahme von Bränden geführt, die zum Absterben der nordamerikanischen borealen Wälder und damit möglicherweise zur Umwandlung einiger Regionen von einer Kohlenstoffsенке zu einer Kohlenstoffquelle geführt haben. Der Permafrost in der Arktis beginnt unwiderruflich aufzutauen und Kohlendioxid und Methan freizusetzen - ein Treibhausgas, das über einen Zeitraum von 100 Jahren etwa 30 mal potenter ist als CO<sub>2</sub>.

Es ist wichtig, dass Forscher ihr Verständnis für diese beobachteten Veränderungen in den wichtigsten Ökosystemen verbessern und herausfinden, wo zukünftige Kipppunkte liegen könnten. Bestehende Kohlenstoffspeicher und potenzielle Freisetzungen von CO<sub>2</sub> und Methan müssen besser quantifiziert werden.

Das weltweit verbleibende Emissionsbudget für eine 50:50 Chance, die Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, beträgt nur etwa 500 Gigatonnen (Gt) CO<sub>2</sub>. Die Emissionen aus dem Permafrost könnten dieses Budget um schätzungsweise 20% (100 Gt CO<sub>2</sub>) reduzieren, und zwar ohne Berücksichtigung von Methan aus dem Tief-Permafrost oder Unterwasserhydraten. Falls sich die Wälder in der Nähe von Kipppunkten befinden, könnte das Absterben des Amazonas weitere 90 Gt CO<sub>2</sub> und die borealen Wälder weitere 110 Gt CO<sub>2</sub> freisetzen. Bei einem weltweiten CO<sub>2</sub>-Gesamtausstoß von immer noch mehr als 40 Gt pro Jahr könnte das verbleibende Budget bereits fast vollständig aufgebraucht sein.



*Gebliche Korallen auf einem Riff in der Nähe der Insel Moorea in Französisch-Polynesien im Südpazifik, Credit: Alexis Rosenfeld/Getty*

## Globale Kaskade

Unserer Meinung nach wäre der deutlichste Notfall, wenn wir uns einer globalen Kaskade von Kippunkten näherten, die zu einem neuen, weniger bewohnbaren, "Heißzeit"-Klimazustand führen würden. Wechselwirkungen könnten durch Ozean- und Atmosphärenzirkulation oder durch Rückkopplungen stattfinden, die das Treibhausgasniveau und die Erderwärmung ansteigen lassen. Alternativ könnten starke Wolkenrückkopplungen einen globalen Kippunkt herbeiführen.

Wir sind der Auffassung, dass kaskadierende Faktoren durchaus häufiger auftreten können. Im vergangenen Jahr haben Forschungsarbeiten 30 Arten von Kippelementen analysiert, von denen das physische Klima und die Ökosysteme betroffen sind, vom Zusammenbruch des westantarktischen Eisschildes bis zum Umschwung vom Regenwald zur Savanne. Daraus ergab sich, dass das Überschreiten von Kippunkten in einem System das Risiko erhöhen kann, sie in anderen Systemen ebenfalls zu überschreiten. Solche Verbindungen wurden für 45% der möglichen Wechselwirkungen gefunden.

Aus unserer Sicht werden nun vermehrt Beispiele dafür gefunden. So verstärkt beispielsweise der Verlust von arktischem Meereis die lokale Erwärmung, und die Erwärmung in der Arktis und das Schmelzen in Grönland bewirken einen Zufluss von Süßwasser in den Nordatlantik. Dies könnte zu einer 15%igen Abschwächung des Golfstroms seit Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts beigetragen haben, einem Schlüsselfaktor für den globalen Wärme- und Salztransport durch die Ozeane. Das schnelle Schmelzen des grönländischen Eisschildes und die weitere Abschwächung des Golfstroms könnten den westafrikanischen Monsun destabilisieren und Dürren in der afrikanischen Sahelzone auslösen. Eine Abschwächung des Golfstroms könnte auch den Amazonas austrocknen, den ostasiatischen Monsun stören und dazu führen, dass sich im Südpolarmeer die Wärme ansammelt, was den Verlust von antarktischem Eis noch beschleunigen könnte.

Die Paläo-Aufzeichnung dokumentiert globale Kippvorgänge, wie den Eintritt in die Eiszeitzyklen vor 2,6 Millionen Jahren und deren Wechsel in Amplitude und Frequenz vor rund einer Million Jahren, die von Modellen gerade erst simuliert werden können. Innerhalb und am Ende der letzten Eiszeit, vor 80.000 bis 10.000 Jahren (die Ereignisse Dansgaard-Oeschger und Heinrich), kam es immer wieder zu regionalen Kippereignissen. Obwohl dies für die gegenwärtige Zwischeneiszeit nicht direkt anwendbar ist, wird deutlich, dass das Erdsystem zuvor über mehrere Zeiträume hinweg instabil war, und zwar unter relativ schwachem Druck, der durch Veränderungen in der Erdumlaufbahn verursacht wurde. Jetzt sind wir dabei, das System stark zu verändern, mit atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration und globaler Temperaturerhöhung mit einer Rate, die eine Größenordnung höher ist als beim Ende der letzten Eiszeit.

Atmosphärisches CO<sub>2</sub> ist bereits auf dem Niveau, das vor rund vier Millionen Jahren, im Pliozän, erreicht wurde. Es bewegt sich rasch auf das Niveau zu, das vor etwa 50 Millionen Jahren - im Eozän - erreicht wurde, als die Temperaturen bis zu 14 °C höher waren als in vorindustriellen Zeiten. Es ist eine besondere Schwierigkeit für Klimamodelle, solche vergangenen "Heißzeit"-Erdezustände zu simulieren. Eine mögliche Erklärung ist, dass den Modellen ein wichtiger Wendepunkt fehlt: Ein erst dieses Jahr veröffentlichtes Cloud-Resolving-Modell deutet darauf hin, dass der abrupte Zerfall von Stratocumuluswolken bei über ca. 1.200 ppm CO<sub>2</sub> zu einer globalen Erwärmung von etwa 8 °C geführt haben könnte.

Einige frühe Ergebnisse der neuesten Klimamodelle - die für den sechsten Bewertungsbericht des IPCC im Jahr 2021 erstellt wurden - deuten auf eine wesentlich höhere Klimasensitivität hin (definiert als die Temperaturveränderung bei Verdoppelung des atmosphärischen CO<sub>2</sub>) als in früheren Modellen. Es liegen noch viel mehr Ergebnisse vor, und es sind weitere Untersuchungen erforderlich, aber für uns deuten diese vorläufigen Ergebnisse darauf hin, dass ein globaler Kipppunkt durchaus möglich ist.

Um diese Probleme anzugehen, brauchen wir Modelle, die eine reichere Palette von Verbindungen und Rückkopplungen im Erdsystem erfassen, und wir brauchen mehr Daten - Gegenwart und Vergangenheit - und bessere Möglichkeiten, sie zu nutzen. Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Modellen, bekannte abrupte Klimaänderungen der Vergangenheit und Heizeitklimazustände zu erfassen, sollte das Vertrauen in ihre Fähigkeit, diese zu prognostizieren, stärken.

Einige Wissenschaftler argumentieren, dass die Möglichkeit eines globalen Kipppunktes nach wie vor sehr spekulativ sei. Es ist unsere Überzeugung, dass jede ernsthafte Risikobewertung angesichts der enormen Auswirkungen und des unumkehrbaren Charakters diese Erkenntnisse berücksichtigen muss, so begrenzt auch immer unser Verständnis sein mag. Sich auf der Gefahrenseite zu irren, ist keine verantwortungsvolle Option.

Wenn es also zu gefährlichen Kippkaskaden kommen kann und ein globaler Kipppunkt nicht ausgeschlossen werden kann, dann ist dies eine existenzielle Bedrohung für die Zivilisation. Keine wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse wird uns helfen. Wir müssen unseren Ansatz für das Klimaproblem ändern.

## Jetzt handeln

Aus unserer Sicht deuten allein die Beweise aus den Kipppunkten schon darauf hin, dass wir uns in einem Zustand des planetarischen Notstands befinden: Sowohl das Risiko als auch die Dringlichkeit der Situation sind akut.

Wir sind der Auffassung, dass die verbleibende Interventionszeit, um ein Kippen zu verhindern, bereits gegen Null geschrumpft sein könnte, während die Reaktionszeit zur Erreichung der Netto-Null-Emissionen höchstens 30 Jahre beträgt. Daher haben wir vielleicht schon die Kontrolle darüber verloren, ob das Kippen tatsächlich stattfindet. Eine rettende Gnade ist, dass die Geschwindigkeit, mit der sich der Schaden durch das Kippen summiert - und damit das Risiko - noch bis zu einem gewissen Grad unter unserer Kontrolle sein könnte.

Die Stabilität und Widerstandsfähigkeit unseres Planeten ist in Gefahr. Internationale Maßnahmen - nicht nur Worte - müssen dies widerspiegeln.

Übersetzung ohne Gewähr