

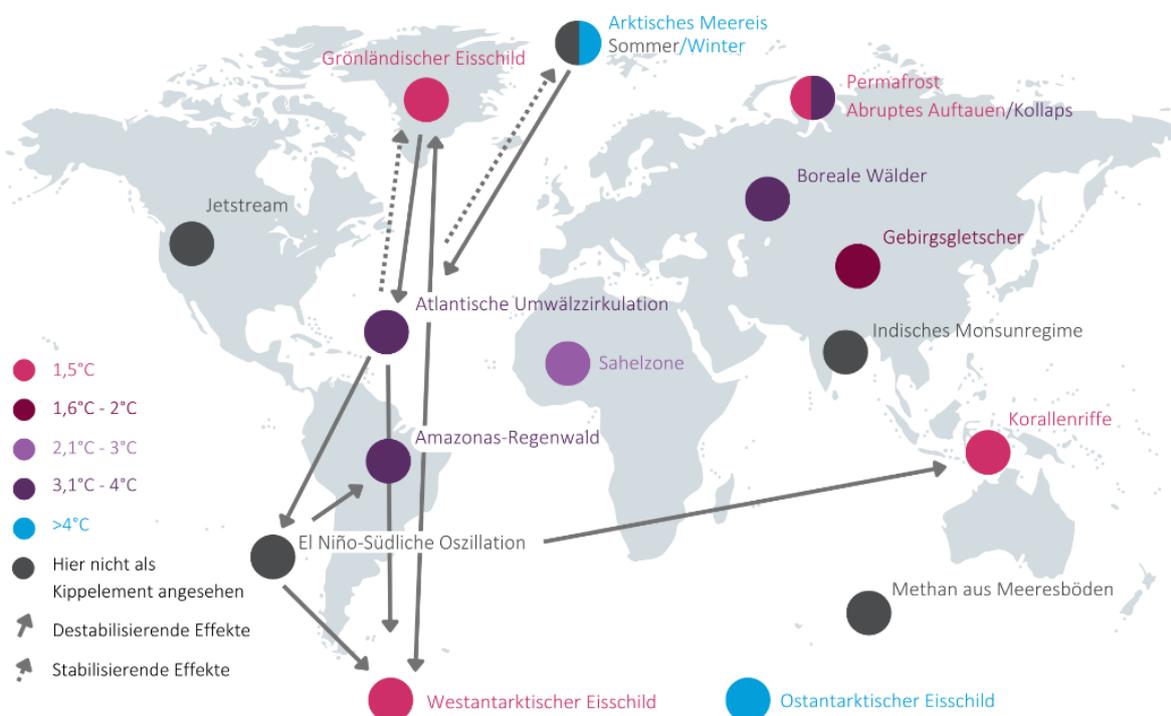
## Kippunkte und kaskadische Kippdynamiken im Klimasystem

Einzelne Komponenten des Erdsystems, beispielsweise Ökosysteme, Ozeanzirkulationen und Eisschilde sind durch den fortschreitenden Klimawandel stark veränderten Bedingungen ausgesetzt. Dabei besteht das Risiko, dass sich-selbst-verstärkende Dynamiken zwischen verschiedenen Erdsystemelementen ausgelöst werden, die in einem neuen Systemzustand münden könnten (wie zum Beispiel dem Abschmelzen eines Eisschildes). Diese Kippdynamiken wären auch bei einer Stabilisierung oder Verringerung der globalen Temperatur nicht direkt umkehrbar.

Komponenten des Erdsystems, bei denen kritische Schwellenwerte bezüglich ihrer Stabilität, sogenannte Kippunkte, identifiziert wurden, werden als Kippelemente bezeichnet (Abbildung 1).

So kann beispielsweise der Amazonas-Regenwald, ein weltweit einzigartiges Ökosystem, in einen waldlosen Zustand übergehen, wenn Entwaldung und Klimaveränderungen bestimmte Kippunkte überschreiten. Große Strömungsmuster in den Ozeanen können ihre Kraft verlieren, mit globalen Konsequenzen für Wettermuster und Klimabedingungen. {Hintergrundpapier: Kapitel 1}

**Abbildung 1 Kippelemente des Klimasystems**



Wichtige Kippelemente und ihre Kippunkte bei einer bestimmten globalen Erwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Niveau (1850 – 1900). Korallenriffe, Permafrostböden sowie Grönländischer und Westantarktischer Eisschild (rot) drohen bereits bei einer anhaltenden globalen Erwärmung von 1,5 °C ihre Kippunkte zu erreichen. Die Pfeile symbolisieren die mögliche gegenseitige Beeinflussung verschiedener Kippelemente auf globaler Ebene und illustrieren das Risiko sogenannter Kippkaskaden.

Quelle: Eigene Darstellung, Climate Analytics, nach Armstrong McKay et al., 2022 und Wunderling et al. 2023

Das Kippen einzelner Elemente des Erdsystems würde weltweit mit erheblichen Folgen für Gesellschaften und Ökosysteme einhergehen. Für folgende Kippelemente wurden besondere Risiken entweder aufgrund des unmittelbaren Risikos eines Überschreitens des Kippunktes durch veränderte Klimabedingungen oder hinsichtlich besonders schwerwiegender Folgen identifiziert: der Grönländische Eisschild, der Westantarktische Eisschild, der Amazonas-Regenwald, die Ozeanische Zirkulation im Nordatlantik und die Korallenriffe {Hintergrundpapier: Kapitel 2.1}.

### **Das Risiko von kaskadischen Kippdynamiken**

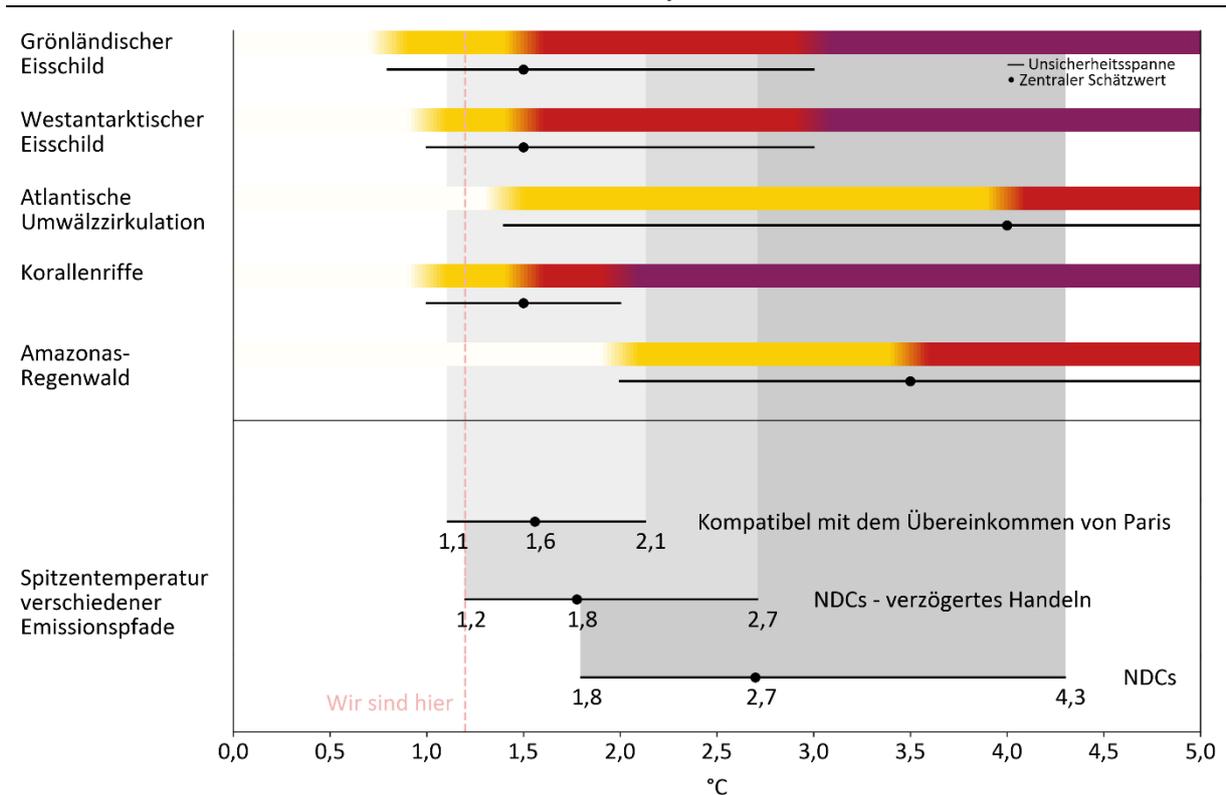
Die Komponenten des Erdsystems sind durch Wechselwirkungen wie beispielsweise Wärme- und Stoffaustausch verbunden. So kann das Kippen eines Elements, die Kippdynamiken anderer Elemente befördern. Das Konzept der Kippkaskaden illustriert die starke Vernetzung des Erdsystems und das Potential oft unvorhergesehener klimatischer und ökologischer Konsequenzen. Ein Netz verbundener Kippelemente sind in Abbildung 1 dargestellt. Unter der Annahme starker Wechselwirkungen zwischen den Kippelementen könnten Kippdynamiken für einzelne Elemente bereits bei deutlich niedrigeren Erwärmungsniveaus ausgelöst werden. {Hintergrundpapier: Kapitel 2.2}

## **Klima- und sicherheitspolitische Implikationen**

Die Erkenntnisse um die Risiken von Kippelementen und kaskadischen Kippdynamiken erhöhen die Dringlichkeit des politischen Handelns. {Hintergrundpapier: Kapitel 3.1, 3.2}

- ▶ Die zentrale Bedeutung des in Paris vereinbarten Ziels, die Erderwärmung auf 1,5°C zu begrenzen, wird dabei durch neue Kenntnisse zu Risiken von Kippelementen untermauert.
- ▶ Derzeitige Klimaschutzbemühungen sind unzureichend, um das Überschreiten von Kippunkten zu vermeiden, und müssen dringend in dieser „kritischen Dekade“ nachgeschärft werden. Das kombinierte Risiko aus einer starken Erwärmungsantwort des Erd-Klimasystems im Allgemeinen und der Überschreitung von Kippunkten verschiedener Kippelemente steigt bei verzögertem Handeln stark an (Abbildung 2)
- ▶ Eine Vielzahl von Maßnahmen ist erforderlich, um die globale Erwärmung auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen und Kipprisiken zu minimieren. Der Einsatz von atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Entnahme ist dabei unvermeidbar, geht jedoch auch mit Bedenken bezüglich ihrer Machbarkeit und Nachhaltigkeit einher.
- ▶ Ein mögliches Überschreiten von Kippunkten birgt Risiken für die Anpassung an Klimafolgen. Bereits beim derzeitigen Niveau der globalen Erwärmung sind manche Grenzen der Anpassungsfähigkeit für Mensch und Ökosysteme bereits erreicht, diese würden beim Auslösen von Kippdynamiken weiter strapaziert.

**Abbildung 2 Gemeinsame Unsicherheiten von Kippunkten und der globalen Erwärmung als Resultat von verschiedenen Emissionspfaden**



Kippunkte der fünf dringlichsten Kippelemente sowie mögliche Bereiche der Spitzentemperaturen im 21. Jahrhundert im Vergleich zum vorindustriellen Niveau (1850-1900) für ausgewählte Emissionspfade aus dem 6. Sachstandsbericht des IPCC. Quelle: Eigene Darstellung, Climate Analytics, nach Kloenne, et al., 2023

Die mitunter drastischen Folgen von Kippdynamiken können regionale Konflikte und Krisen fördern {Hintergrundpapier: Kapitel 3.3}:

- ▶ Das Überschreiten von Kippunkten kann bereits existierende Ressourcenkonflikte eskalieren, beispielsweise könnten der Verlust von Gletschern und Veränderungen des indischen Monsunregimes die Wasserkonflikte auf dem indischen Subkontinent verschärfen.
- ▶ Ein weitgehender Verlust des Amazonas-Regenwaldes, bei 3-4°C Erwärmung und auf einer Zeitskala von mehreren Jahrzehnten bis 100 Jahren, hätte schwerwiegende Konsequenzen für den globalen Kohlenstoffkreislauf, aber insbesondere auch für das Klima Südamerikas. Das Risiko von Dürren und wasserbezogenen Konflikten würde deutlich zunehmen.
- ▶ Der Verlust von Ökosystemen mit einzigartigem Artenreichtum wie der Amazonas-Regenwald oder tropische Korallenriffe, welche bereits bei einer Erwärmung von 1,5°C und auf einer Zeitskala von wenigen Jahren bis Jahrzehnte vom Aussterben bedroht wären, würde eine Biodiversitätskatastrophe erdgeschichtlichen Ausmaßes bedeuten. Der damit einhergehende Verlust der Ökosystemdienstleistungen würde hunderte Millionen Menschen weltweit betreffen.
- ▶ Ein Kollaps der Atlantischen Umwälzzirkulation, zunehmend wahrscheinlich bei 4°C Erwärmung und über mehrere Jahrzehnte, hätte schwerwiegende Auswirkungen auf das

nordamerikanische, europäische und vorderasiatische Klima und mit drastischen Folgen für die weltweite Ernährungssicherheit, da mehrere bedeutende landwirtschaftlichen Regionen betroffen wären.

- Ein Meeresspiegelanstieg von mehreren Metern als Folge eines Überschreitens von Eisschildkipppunkten, welche bei einer anhaltend Erwärmung über 1,5°C erreicht werden könnten und ein Abschmelzen über Jahrtausende zur Folge hätte, würde die globalen Küstenlinien fundamental verändern und hätte gravierende Konsequenzen für Küstengebiete weltweit sowie die Bewohnbarkeit ganzer Staaten.

Das Überschreiten von Kipppunkten hätte weitreichende sicherheitspolitische Konsequenzen. Daher gilt es, diese Risiken neben internationalen Klimaforen wie der Klimarahmenkonvention auch in anderen Gremien innerhalb der Vereinten Nationen, anderen multilateralen Foren wie den G7, G20, aber auch beispielsweise sicherheitspolitischer Bündnisse zu adressieren. {Hintergrundpapier: Kapitel 3.4}

## Quellen

Armstrong McKay DI, Staal A, Abrams JF, et al. (2022): Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science* 9: 377. DOI: 10.1126/science.abn7950

Kloenne U, Nauels A, Pearson P, DeConto RM, et al. (2023): Only halving emissions by 2030 can minimize risks of crossing cryosphere thresholds. *Nat Clim Change* 13 (1): 9–11. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01566-4>

Wunderling N, Von Der Heydt A, Aksenov Y, et al. (2023): Climate tipping point interactions and cascades: A review. *EGUsphere* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-1576>

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)

Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Autorenschaft, Institution

Kai Kornhuber, Uta Klönne, Dalia

Kellou, Carl-Friedrich Schleißner

Climate Analytics gGmbH, Berlin

### Redaktion

Fachgebiet V 1.1 - Klimaschutz

**Der Inhalt dieses Factsheets fasst die Ergebnisse und den Inhalt des Hintergrundpapiers zum Vorhaben „Kipppunkte und kaskadische Kippdynamiken im Klimasystem – Erkenntnisse, Risiken sowie klima- und sicherheitspolitische Relevanz“ (FKZ 37A23 01 001 0) zusammen.**