



ARTIKEL WAHL DES HERAUSGEBERS

Der Zustand des Klimaberichts 2024: Gefahrzeit auf dem Planeten Erde FREE

  , , , , , , , , ... [Mehr zeigen](#)[Anmerkung des Autors](#)

BioScience, Band 74, Ausgabe 12. Dezember 2024, Seiten 812–824, <https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>

Veröffentlicht: 08 Oktober 2024 **Artikelgeschichte** ▼

Ausgabe: [Sonderbericht](#)

Wir stehen am Rande einer unumkehrbaren Klimakatastrophe. Dies ist ein globaler Notfall, der zweifelsfrei zweifelsfrei ist. Ein Großteil des Gewebes des Lebens auf der Erde ist gefährdet. Wir treten in eine kritische und unvorhersehbare neue Phase der Klimakrise ein. Seit vielen Jahren schlagen Wissenschaftler, darunter eine Gruppe von mehr als 15.000, Alarm wegen der drohenden Gefahren des Klimawandels, die durch zunehmende Treibhausgasemissionen und den Veränderung des Ökosystems getrieben werden (Ripple et al. 2020). Seit einem halben Jahrhundert wird die globale Erwärmung korrekt vorhergesagt, noch bevor sie beobachtet wurde – und nicht nur von unabhängigen akademischen Wissenschaftlern, sondern auch von fossilen Brennstoffunternehmen (Supran et al. 2023). Trotz dieser Warnungen bewegen wir uns immer noch in die falsche Richtung; die Emissionen fossiler Brennstoffe sind auf ein Allzeithoch gestiegen, die 3 heißesten Tage, die jemals im Juli 2024 aufgetreten sind (Guterres 2024), und die aktuellen Richtlinien haben uns auf dem Weg zu etwa 2,7 Grad Celsius (°C) Spitzenerwärmung bis 2100 (UNEP 2023). Tragischerweise versäumen wir es, schwerwiegende Folgen zu vermeiden, und wir können jetzt nur noch hoffen, das Ausmaß des Schadens zu begrenzen. Wir erleben die düstere Realität der Vorhersagen, wenn die Klimafolgen eskalieren und Szenen von beispiellosen Katastrophen auf der ganzen Welt und menschliches und nichtmenschliches Leid hervorbringen. Wir befinden uns inmitten eines abrupten Klimaumbruchs, einer schlimmen Situation, die in den Annale der menschlichen Existenz noch nie zuvor angetroffen wurde. Wir haben jetzt den Planeten in klimatische Bedingungen gebracht, die wir oder unsere prähistorischen Verwandten innerhalb unserer Gattung *Homo* ([Ergänzungsfigur S1](#) ;

CenCO2PIP Consortium et al. [2023](#)).

Letztes Jahr erlebten wir rekordverdächtige Temperaturen an der Meeresoberfläche (Cheng et al. [2024](#)), der heißeste außertropische Sommer der nördlichen Hemisphäre in 2000 Jahren (Esper et al. [2024](#)), und das Brechen vieler anderer Klimarekorde (Ripple et al. [2023a](#)). Darüber hinaus werden wir in den kommenden Jahren viel mehr extremes Wetter erleben (Masson-Delmotte et al. [2021](#)) Die vom Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen und andere Treibhausgase sind die Haupttreiber des Klimawandels. Bis 2022 machen die weltweite Verbrennung von fossilen Brennstoffen und industrielle Prozesse etwa 90% dieser Emissionen aus, während die Landnutzungsänderung, vor allem die Entwaldung, etwa 10% ([Ersatzwert S2](#)) ausmacht.

Unser Ziel in diesem Artikel ist es, Forschern, politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit direkt zu vermitteln. Als Wissenschaftler und Akademiker halten wir es für unsere moralische Pflicht und die unserer Institutionen, die Menschheit auf die wachsenden Bedrohungen aufmerksam zu machen, denen wir uns so klar wie möglich begegnen, und Führungsstärke bei der Ansprache zu zeigen. In diesem Bericht analysieren wir die neuesten Trends in einer Vielzahl von planetarischen Vitalzeichen. Wir überprüfen auch bemerkenswerte aktuelle Klimakatastrophen, heben wichtige Klimathemen ins Rampenlicht und diskutieren notwendige politische Interventionen. Dieser Bericht ist Teil unserer Reihe von präzise jährlichen Updates über den Zustand des Klimas.

Jüngste Trends bei planetarischen Vitalzeichen

Im Jahr 2023 wurden verschiedene historische Temperatur- und Eisausdscheidungen durch enorme Ränder gebrochen (Ab [Abbildung 1](#) ; Ripple et al. [2023a](#)). Sowohl die globalen als auch die Nordatlantik-Oberflächentemperaturen lagen weit über ihren Durchschnittswerten von 1991 bis 2024 für einen Großteil des Jahres - ein Muster, das sich bis 2024 anhält ([Abscheidung 1a, 1b](#)). Obwohl die antarktische und globale Meereisausd. in der vergangenen Jahre weit gekommen sind, liegen sie deutlich unter ihren Durchschnittswerten von 1993 bis 2024 ([Abt 1c, 1d](#)). Die globalen Tagestemperaturen waren fast die Hälfte des Jahres 2023 und viel von 2024 ([Abstand 1e](#)) auf Rekordniveau. Auf unserer aktuellen Emissionsbilanz können wir in den kommenden

Jahren regelmäßig die aktuellen Temperaturrekorde übertreffen (Matthews und Wynes 2022).

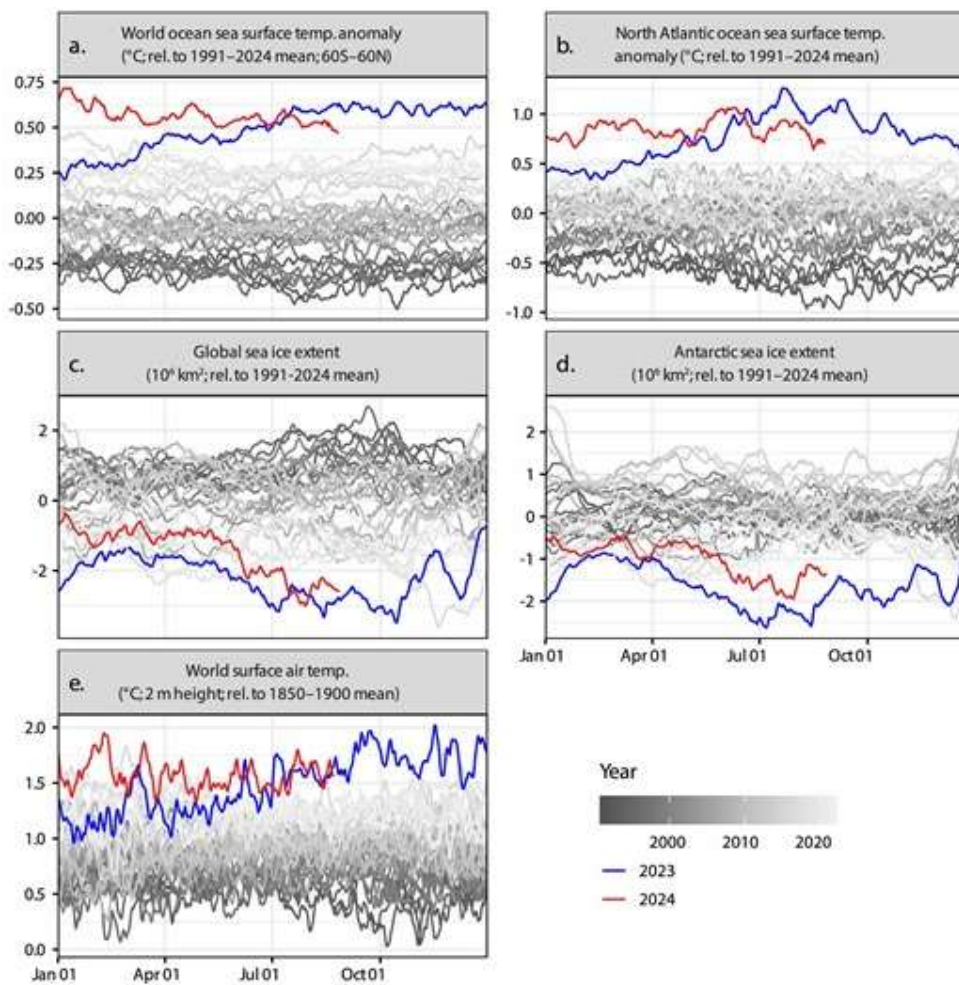


Abbildung 1. Ungewöhnliche Klima-anomalien in den Jahren 2023 und 2024. Die Meerestemperaturen (a, b) liegen derzeit weit außerhalb ihrer historischen Bereiche. Diese Anomalien spiegeln die kombinierte Wirkung des langfristigen Klimawandels und der kurzfristigen Variabilität wider. Quellen und weitere Details zu jeder Variable werden in der Zusatzdatei S1 bereitgestellt. Jede Linie entspricht einem anderen Jahr, wobei dunkleres Grau die späteren Jahre darstellt. Alle angezeigten Variablen sind tägliche Schätzungen.

Von den 35 planetarischen Vitalzeichen, die wir jährlich verfolgen (Zahlen 2 und 33), sind 25 auf Rekordniveau (Ergänzungstabelle S1). Das globale Versäumnis, einen schnellen und sozial gerechten Ende zu unterstützen, hat zu raschen klimabedingten Auswirkungen geführt (Tabelle 1). Im Folgenden konzentrieren wir uns auf Variablen, die sich entweder stark verändert haben oder bei Rekord-Extremen sind.

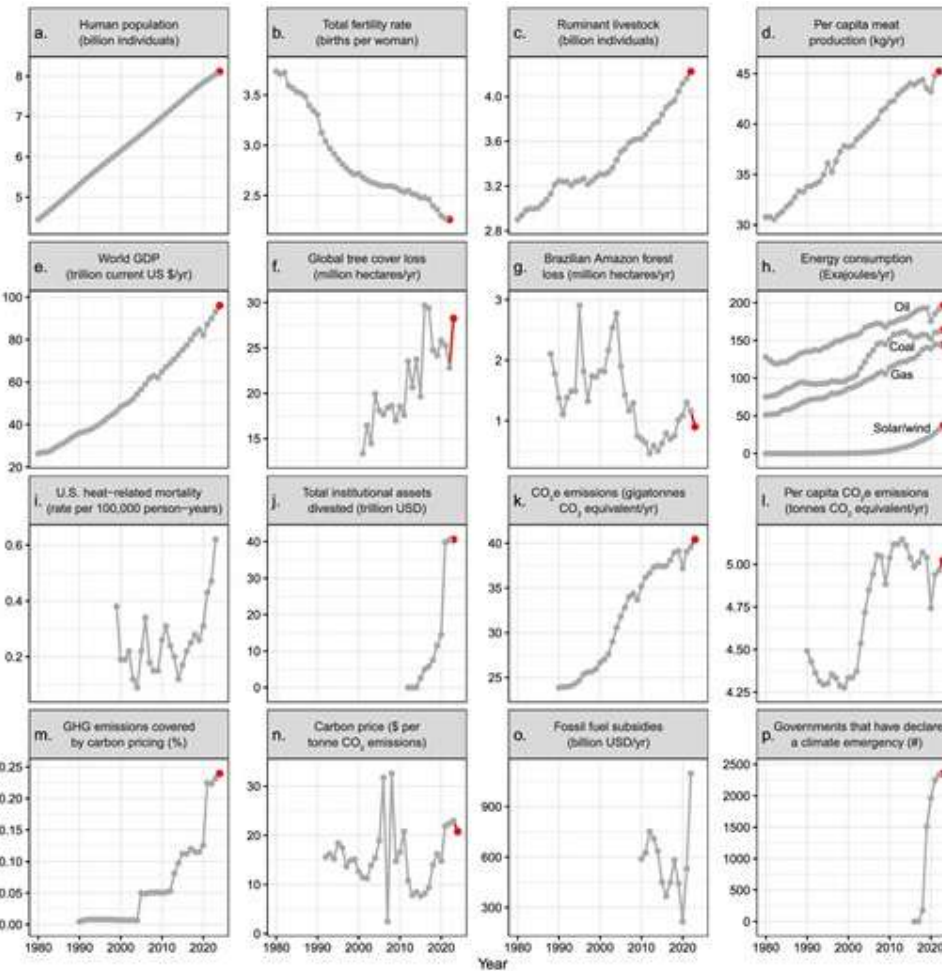


Abbildung 2. Zeiten der klimabedingten menschlichen Aktivitäten. Die seit der Veröffentlichung von Ripple und Kollegen (2023a) erhaltenen Daten werden rot (dunkelgrau in Schwarzweiß) angezeigt. Im Panel (f) berücksichtigt der Baumschutzverlust keinen Waldgewinn und beinhaltet Verlust aus irgendeinem Grund. Für Panel (h) werden Wasserkraft und Kernenergie in der [Ergänzungszahl S3](#) gezeigt. Quellen und weitere Details zu jeder Variable werden in der Zusatzdatei S1 bereitgestellt.

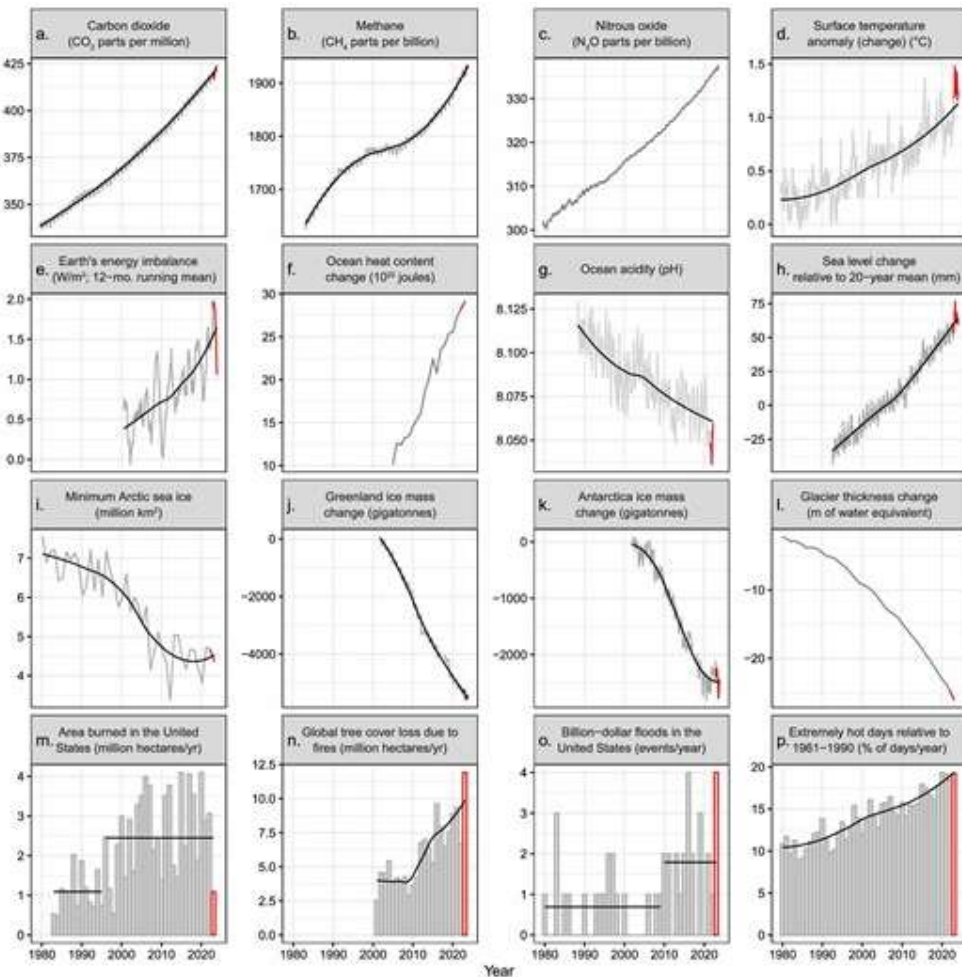


Abbildung 3. Zeiten der klimabedingten Reaktionen. Die Daten, die vor und nach der Veröffentlichung von Ripple und Kollegen (2023a) erhalten wurden, sind in grau und rot (dunkelgrau in Schwarz-Weiß) dargestellt. Für verbrannte (m) und Milliarden-Dollar-Flutfrequenz (o) in den Vereinigten Staaten zeigen die schwarzen horizontalen Linien Modellgeschätzungen des Wechsellpunkts, die abrupte Verschiebungen ermöglichen (siehe Ergänzung). Bei anderen Variablen mit relativ hoher Variabilität werden lokale Regressionstrendlines in Schwarz angezeigt. Die Variablen wurden bei verschiedenen Frequenzen gemessen (z.B. jährlich, monatlich, wöchentlich). Die Etiketten auf der x-Achse entsprechen den Mittelpunkten der Jahre. Die Milliarden-Dollar-Hochwasserrate (o) wird neben dem Klimawandel durch Exposition und Anfälligkeit beeinflusst. Quellen und weitere Details zu jeder Variable werden in der Zusatzdatei S1 bereitgestellt.

Tabelle 1.

Die jüngsten Klimakatastrophen im November 2023 oder später.

Zeitraumen	Klimakatastrophe
------------	------------------

November 2023	Der Sturm Bettina über dem Schwarzen Meer brachte starke Schneefälle und Regenfälle in mehrere Länder entlang des Schwarzen Meeres, die mehr als 2,5 Millionen Menschen betrafen und 23 Todesopfer forderten. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe war für eine etwa zweifache Erhöhung der Wahrscheinlichkeit dieses Niederschlagsniveaus verantwortlich (Zachariah et al. 2024a).
Februar 2024	Waldbrände in Chile töteten mindestens 131 Menschen und zerstörten mehr als 14.000 Häuser. Der Klimawandel könnte zu diesen Bränden beigetragen haben, indem er die Häufigkeit und Intensität von Dürren und Hitzewellen erhöht hat, obwohl andere Faktoren beteiligt gewesen sein könnten, einschließlich El Nio und der Verlust natürlicher Wälder.
März–April 2024	Extreme Hitze betraf einen großen Teil Nordafrikas und der Sahelzone und tötete möglicherweise Hunderte oder Tausende von Menschen. Hitzewellen dieser Größenordnung hätten wahrscheinlich nicht in Abwesenheit des Klimawandels auftreten können (Barnes et al. 2024a).
April 2024	Starke Regenfälle führten zu Sturzfluten in der Region des Persischen Golfs, bei denen mindestens 33 Menschen starben. Der Klimawandel hat diese Niederschläge wahrscheinlich verschärft.
März–Mai 2024	Starke Regenfälle in Ostafrika verursachten schwere Überschwemmungen, die Hunderte töteten und mehr als 700.000 Menschen betrafen. In dieser Region gab es in den letzten 15 Jahren einen Anstieg der beobachteten Niederschläge, die zumindest teilweise auf den Klimawandel zurückzuführen sind (Kimutai et al. 2024).
April bis Mai 2024	Viele Regionen Asiens erlebten verheerende Hitzewellen, mit etwa 1.500 Todesfällen durch einen schweren Hitzschlag allein in Myanmar (Pearce und Ware 2024). Als Teil der längsten Hitzewelle, die jemals in Indien aufgezeichnet wurde, erreichten die Temperaturen in einigen Gebieten 50 °C und hitzebedingte Krankheiten führten zu mindestens 60 Todesfällen. Der Klimawandel macht solche Hitzewellen in einigen Teilen Asiens häufiger und extremer (Zachariah et al. 2024b).
April bis Mai 2024	Umfangreiche Überschwemmungen im Süden Brasiliens verwüsteten 478 Städte, töteten 173 Menschen und hinterließen Vermisste, 806 Verletzte und 423.486 Vertriebene. Die geschätzten Kosten für die Sanierung belaufen sich auf 3,7 Milliarden US-Dollar (Malabarba et al. 2024). Es wurde geschätzt, dass der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit der extremen Regenfälle, die diese Überschwemmungen verursachten, in etwa verdoppelte (Clarke et al. 2024).

Mai 2024	Ein Windsturm in Texas, USA, tötete 5 Menschen und hinterließ mehr als 600.000 Menschen ohne Strom. Der Klimawandel könnte geradlinige Windstürme wie diesen häufiger und intensiver machen.
Mai 2024	Der schwere Zyklon Remal tötete mindestens 84 Menschen in Indien und Bangladesch. Der Klimawandel hat zu einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität solcher schweren Stürme geführt.
Mai-2024	Mexiko und die umliegenden Gebiete waren mit extremer Hitze konfrontiert; mindestens 125 Menschen sind in Mexiko in diesem Jahr an hitzebedingten Krankheiten gestorben. Der Klimawandel erhöht die Häufigkeit solcher extremen Hitzewellen (Pinto et al. 2024)
Juni 2024	Mindestens 1.170 Pilger starben in Saudi-Arabien während einer intensiven Hitzewelle mit Temperaturen von über 50 C. Der Klimawandel trägt zu Hitzewellen wie dieser bei.
Juni 2024	Starke Regenfälle in Bangladesch verursachten Erdbeben, die mindestens neun Menschen töteten, und Überschwemmungen, die fast 2 Millionen Menschen strandeten. Der Klimawandel hat die Intensität der Überschwemmungen in dieser Region erhöht.
Juni 2024	Verheerende Waldbrände verbrannten etwa 440.000 Hektar in den brasilianischen Pantanal-Feuchten, bedrohten wirtschaftliche Aktivitäten und töteten viele wilde Tiere. Es wird geschätzt, dass der Klimawandel zu einem Anstieg der Intensität der Wetterbedingungen, die diese Waldbrände verursachten, um 40% erhöht hat (Barnes et al. 2024b).
Juli 2024	Hurrikan Beryl war ein außergewöhnlich starker atlantischer Hurrikan, der Teile der Karibik, der Vereinigten Staaten und der Halbinsel Yucatán betraf; er tötete 64 Menschen und verursachte mehr als 5 Milliarden US-Dollar Schadenersatz. Der Klimawandel könnte dazu beigetragen haben, dass Beryl sich schnell intensiviert und den Status der Kategorie 5 erreichte, obwohl er relativ früh in der Hurrikansaison stattfand.
Juli 2024	Eine tödliche Hitzewelle im Mittelmeer forderte mindestens 23 Todesopfer. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Klimawandel zu den extremen Temperaturen beigetragen hat, die beobachtet wurden.
August 2024	Hurrikan Debby war ein langsamer Hurrikan, der im Südosten der Vereinigten Staaten umfangreiche Überschwemmungen verursachte und mindestens 10 Menschen tötete. Der Klimawandel wurde mit zunehmenden Hurrikan-Regenfällen und Intensivierungsraten in Verbindung gebracht und könnte an der Verlangsamung der US-Hurrikane beteiligt sein.

Hinweis: Wir listen zahlreiche kürzliche Katastrophen auf, die zumindest teilweise mit dem Klimawandel zusammenhängen könnten. Diese Liste soll nicht

erschöpfend sein. Aufgrund der jüngsten Natur dieser Ereignisse enthalten unsere Quellen oft Nachrichtenmedienartikel. Für jedes Ereignis liefern wir in der Regel Hinweise darauf, dass die Wahrscheinlichkeit oder Stärke eines solchen Ereignisses aufgrund des anthropogenen Klimawandels zugenommen haben könnte. Verweise auf wissenschaftliche Artikel werden direkt in der Tabelle angegeben, und Links zu Nachrichtenartikeln werden in der Zusatzdatei S1 bereitgestellt. Einige dieser Klimakatastrophen könnten zumindest teilweise mit Veränderungen in Jetstreams zusammenhängen (Stendel et al. [2021](#), Rousi et al. [2022](#)).

Das menschliche Unternehmen

Unser grafischer Bericht veranschaulicht, wie sich die kollektive Größe und das Konsumverhalten der Menschheit an mehreren Fronten weiter beschleunigte. Obwohl die Fertilitätsraten im Jahr 2023 leicht auf ein Rekordtief fielen, legten andere Variablen Allzeitrekorde auf, darunter die menschliche Bevölkerung, die Wiederkäuerbestände, die Pro-Kopf-Fleischproduktion und das Bruttoinlandsprodukt (BIP; Wert [2a–2e](#)). Die Population und die Wiederkäuernbestände der Menschen haben etwa 200.000 bzw. 170.000 pro Tag zugenommen. Die Entkopplung des Wachstums in all diesen Variablen mit Treibhausgasemissionen kann schwierig sein (Ripple et al. [2024](#))

Energie

Der Verbrauch fossiler Brennstoffe stieg im Jahr 2023 im Vergleich zu 2022 um 1,5% (ab [2h](#)), vor allem aufgrund eines erheblichen Anstiegs des Kohleverbrauchs (1,6%) und des Ölverbrauchs (2,5%; Abbildung [2h](#)). Der Einsatz erneuerbarer Energien stieg ebenfalls im Jahr 2023, wobei der Sonnen- und Windverbrauch im Vergleich zu 2022 um 15% (ab [2h](#)) stieg. Ein Großteil dieses Wachstums ist darauf zurückzuführen, dass erneuerbare Energien oft billiger sind als vergleichbare neue fossile Brennstoffalternativen (Roser [2020](#)). Der Verbrauch fossiler Brennstoffe bleibt jedoch etwa 14-mal höher als der Sonnen- und Windenergieverbrauch (Takt [2h](#)) und das jüngste Wachstum des erneuerbaren Anteils an der Stromerzeugung deckte die überwiegend erhöhte Nachfrage, anstatt fossile Brennstoffe zu ersetzen (REN21 [2024](#)).

Wald

Der weltweite Verlust der Baumbedeckung stieg von 22,8 Megahtaress (Mha) pro Jahr im Jahr 2022 auf 28,3 Mha pro Jahr im Jahr 2023 und

erreichte seinen dritthöchsten Stand (Wert [2f](#)); dies lag zumindest teilweise an Waldbränden, die dazu führten, dass der Verlust der Baumbedeckung einen Rekordwert von 11,9 Mha erreichte (Abnahme [3n](#)). Hohe Raten von Baumdeckenverlust können eine Reihe von verwandten Rückkopplungsschleifen antreiben, wobei der Verlust der Waldkohlenstoffbeschlagnahme zu einer zusätzlichen Erwärmung führt, was zu weiteren Verlusten bei der Kohlenstoffbindung und so weiter führen kann (Ripple et al. [2023b](#), Goldman und Carter [2024](#)). Diese Art von Klima-Kohlenstoff-Rückkopplung könnte den Erfolg einiger natürlicher Klimälösungen einschränken. Im Jahr 2023 gab es auch einen dramatischen Rückgang der Landkohlenstoffsenske laut Ke und Kollegen (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12447> [Vordruck: nicht begutachtet]). Positiv zu vermerken ist, dass die Entwaldungsrate im brasilianischen Amazonasgebiet weiter zurückging und von 1,16 Mha im Jahr 2022 auf 0,90 Mha im Jahr 2023 (ab [2 g](#)) sank. Dieser Rückgang könnte zum Teil auf die sich verändernde Politik der brasilianischen Regierung zurückzuführen sein (Vilani et al. [2023](#)) und kommt zu einem kritischen Zeitpunkt, da der Amazonas sich einem Wendepunkt nähern könnte, an dem ein Verlust an Widerstandsfähigkeit und positiven Rückkopplungsschleifen zu großflächigen Waldsterben beitragen (Boulton et al. [2022](#), Flores u.a. [2024](#))

Globale Treibhausgase und Temperatur

Die jährlichen energiebedingten Emissionen stiegen 2023 um 2,1 % und liegen nun erstmals über 40 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalent (Abstell [2 %](#)). Die drei Länder sind China, die Vereinigten Staaten und Indien, die zusammen mehr als die Hälfte der globalen Emissionen ([Nachstufe S2](#)) ausmachen. Die anthropogenen Emissionen von Aerosolschadstoffen nehmen ab; da diese Aerosole einen Nettokühleffekt haben, kann diese Reduzierung dazu führen, dass sich die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung beschleunigt (Hansen et al. [2023](#)). Auf der Grundlage der globalen Durchschnittswerte des Jahres sind die Konzentrationen von Kohlendioxid und Methan auf Rekordhöhe (Abrechnung [3a](#), [3b](#)). Kürzlich wurde beobachtet, dass der Kohlendioxidgehalt ansteigen würde (NOAA [2024](#)). Darüber hinaus hat sich die Wachstumsrate der Methanemissionen beschleunigt, was sehr beunruhigend ist (Shindell et al. [2024](#)) Lachgas ist ebenfalls auf einem Rekordhoch (Zahl [3c](#)); die jährlichen anthropogenen Emissionen dieses potent langlebigen Treibhausgases sind von 1980 bis 2020 um etwa 40% gestiegen (Tian et al. [2024](#))

Die Oberflächentemperatur ist auf einem Rekordhoch, und 2024 wird voraussichtlich eines der heißesten Jahre sein, die jemals aufgezeichnet wurden (Zahl 3d). Jede 0,1°C der globalen Erwärmung bringt zusätzliche 100 Millionen Menschen (oder mehr) in beispiellose heiße Durchschnittstemperaturen (Lenton et al. 2023). Auf unserem derzeitigen Verlauf werden die kommenden Jahre mit ziemlicher Sicherheit noch heißer sein, da sich unser Klima weiterhin von den Bedingungen entfernt, die mit dem Menschen verbunden sind, die für einen Großteil der Erdbevölkerung gedeihen (Vecellio et al. 2023). Selbst in den optimistischsten Szenarien werden groß angelegte Klimaanpassungsbemühungen erforderlich sein, insbesondere für die am stärksten gefährdeten Bevölkerungsgruppen (Ripple et al. 2022).

Ozean und Eis

Der Säuregehalt des Ozeans und der Wärmegehalt der Ozeane befinden sich beide bei Rekordextremen (Zahl 3f, 3g), was zu verschiedenen ozeanbedingten Klimaauswirkungen geführt hat. Zum Beispiel verursachten Hitzewellen in den Jahren 2021 und 2023 Meerestier-Massensterbenereignisse (White et al. 2023, Goreau und Hayes 2024). Darüber hinaus ist der durchschnittliche globale Meeresspiegel derzeit auf einem Rekordhoch, vor allem wegen der allgemeinen Erwärmung und eines starken El-Ninos im Jahr 2023 und eines Teils von 2024 (Absatz 3h ; Lee 2024). Der anhaltende Anstieg des Meeresspiegels hat das Potenzial, im Laufe des Jahrhunderts Hunderte Millionen Menschen zu verdrängen (Kulp und Strauss 2019). Schmelzendes kontinentales Eis trägt etwa zur Hälfte zum Meeresspiegelanstieg bei (Horwath et al. 2021), und die neuesten Daten deuten darauf hin, dass Grönlands Eismasse, die Eismasse der Antarktis und die durchschnittliche Gletscherdicke alle auf Rekordtiefs liegen (Abstand 3j – 3l).

Klimaauswirkungen und extremes Wetter

Klimabedingte extreme Wetterbedingungen und Katastrophen tragen stark zum menschlichen Leid bei (Zahl 44). Steigende Hitze- und Niederschlagsextreme liegen jetzt weit außerhalb des historischen Klimas (Robinson et al. 2021) Der rasche Anstieg der durchschnittlichen globalen Temperaturen (Abbildung 1e) hat zu einem massiven Anstieg der Hitzeextreme (Abbildung 3p) geführt. Dies hängt mit vielen negativen menschlichen Ergebnissen zusammen, einschließlich direkter Sterblichkeit, erhöhter

Gesundheitskosten, psychischer Gesundheitsprobleme und Todesfälle durch kardiorespiratorische Krankheiten (Ebi et al. 2021) Der Klimawandel hat bereits zu Milliarden von Menschen beigetragen, die mit extremer Hitze konfrontiert sind (Arrighi et al. 2024) Die hitzebedingte Sterblichkeit steigt in den Vereinigten Staaten rapide an (Abbildung 2i); die Zahl der hitzebedingten Todesfälle stieg von 1999 bis 2023 um 117% (Howard et al. 2024) Letztes Jahr gab es vier Milliarden Dollar Überschwemmungen in den Vereinigten Staaten (eine Krawatte für den Rekord; Zahlen 30 und S4). Seit der Veröffentlichung unseres letzten Berichts (Ripple et al. 2023a), zahlreiche andere große klimabedingte Katastrophen gab es, darunter eine Reihe von Hitzewellen in ganz Asien, die mehr als tausend Menschen töteten und zu Temperaturen führten, die in einigen Teilen Indiens 50 °C erreichten (Tabelle 1). Da das Erdsystem stark nichtlinear ist, können extreme Wetterbedingungen und Katastrophenraten als Reaktion auf die globale Erwärmung dramatisch anziehen, einschließlich der Auswirkungen auf das Pflanzen- und Tierleben (Zahl 3 m, 30 und die zusätzlichen Zahlen S4 und S5 ; Calvin 2019, Robinson et al. 2021)

Untold Human Suffering in Pictures



Abbildung 4. Fotoserien, die die Auswirkungen klimabedingter Katastrophen darstellen. Erste Reihe (von links nach rechts): Rettung von Menschen, die von Überschwemmungen in der Stadt Canoas gestrandet sind, Rio Grande do Sul (Brasilien, 2024; Duda Fortes, Agencia RBS), "Dürre in Äthiopien wegen Regenfällen, die nicht realisiert wurden" (Äthiopien, 2011; Oxfam Ostafrika; CC BY 2.0). Zweite Reihe: Feuerwehrleute enthalten ein Buschfeuer, das in der Stadt Aberdare brennt (Australien, 2013; Quarrie Photography, Jeff Walsh, Cass Hodge; CC BY-NC-ND 2.0), die Nachwirkungen des Hurrikans Matthew (Haiti, 2016; UN Photo/Logan Abassi; CC BY-NC-ND 2.0). Dritte Reihe: Inspektion einer sturmgeschädigten Fahrbahn in Kalifornien (Vereinigte Staaten, 2023; Andrew Avitt/USDA Forest Service), Reste eines Hauses auf der Insel Leyte, das vom Taifun Haiyan zerstört wurde (Die Philippinen, 2013; Trocaire/Wikimedia; CC BY 2.0). Alle Zitate stammen aus dem Climate Visuals-Projekt (<https://climatevisuals.org>). Siehe Ergänzungsdatei S1 für Details und mehr Bilder.

Klima-Spotlight

Im vorliegenden Abschnitt blicken wir die jüngsten Entwicklungen in verschiedenen klimabezogenen Gebieten ins Rampenlicht:

Korallenbleichen, giftige Orangenflüsse, Sonnenstrahlungsmodifikation (SRM), die Meinung der Klimawissenschaftler zu globalen Temperaturen, Klimawandel als soziales Gerechtigkeitsproblem, Klimarückkopplungsschleifen und Kipp-Punkte und das Risiko eines gesellschaftlichen Zusammenbruchs.

Korallenbleiche

Korallenriffe profitieren Millionen von Menschen, indem sie eine breite Palette von Ökosystemdienstleistungen anbieten, einschließlich Küstenschutz, verbesserter Wasserqualität, Fischerei und touristische Möglichkeiten; sie bieten auch Lebensraum für viele Arten (Woodhead et al. 2019) Der Klimawandel ist eine besonders ernste Bedrohung für Korallenriffe (Hoegh-Guldberg et al. 2017) Der Herz-Wasser-Korallentod wird manchmal durch Bleichen vorausgehen - der Verlust einer symbiotischen Beziehung mit Mikroalgen (Bild 5a ; Hoegh-Guldberg et al. 2017) Wenn sich ein starker Anstieg der Meerestemperatur weit über dem langfristigen durchschnittlichen Sommermaximum entfaltet, sterben viele Korallen innerhalb von ein oder zwei Wochen schnell, ohne Zeit zum Bleichen zu haben. Andere bleichen und sterben entweder langsamer über einen Zeitraum von ein paar Monaten oder wiedererlangen ihre Farbe und überleben (Hughes et al. 2018) Ab 2024 treiben außerordentlich warme Meerestemperaturen (Abstand 1a) das vierte Korallenbleichereignis im globalen Ausmaß an (vorherige Ereignisse: 1998, 2010, 2014–2017; Thiem 2024).

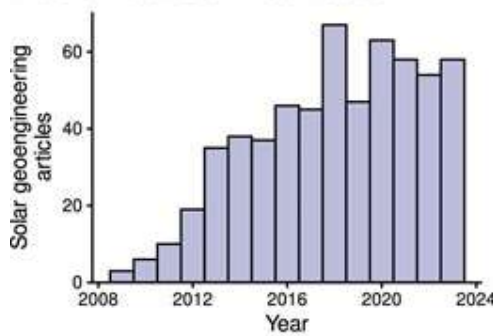
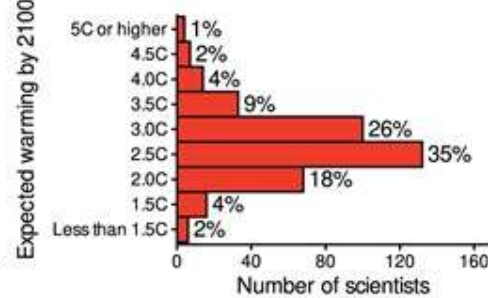
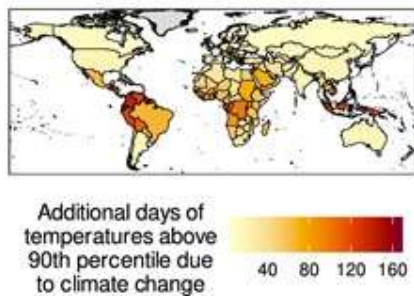
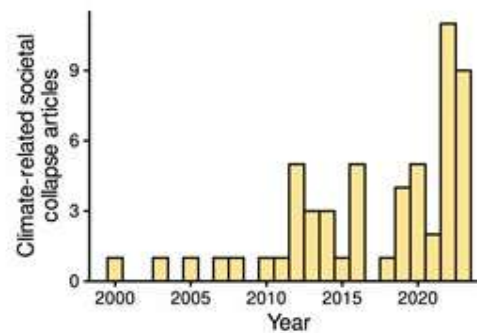
a. Coral bleaching**b. Toxic orange rivers****c. Solar Radiation Modification****d. Climate scientists' opinion on global temperatures****e. Climate change as a social justice issue****f. Risk of societal collapse**

Abbildung 5. Themen des Klimawandels im Rampenlicht. Schon jetzt treten viele gravierende Klimaauswirkungen auf, darunter Korallenbleichen (a) und Permafrosttawetter tragen zu orangenen Flüssen mit geringerer Fischfülle und Trinkwasserqualität (b). In den letzten Jahren ist die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Zusammenhang mit der Sonnenstrahlung (c) dramatisch gestiegen. Eine Umfrage unter Hunderten von IPCC-Autoren und Review-Redakteuren zeigt, dass die Mehrheit eine katastrophale Erwärmung von mindestens 2,5 Grad Celsius in diesem Jahrhundert (d) erwartet. Es wird erwartet, dass extreme Hitze Menschen in weniger wohlhabenden Ländern, die niedrigere Emissionen haben, überproportional sein wird. Der Klimawandel könnte schließlich zum gesellschaftlichen Zusammenbruch beitragen - eine Möglichkeit, die von Forschern (f) zunehmend in Betracht gezogen wird. Siehe Ergänzungsdatei S1 für Datenquellen und Details. Fotos: (a) Acropora/Wikimedia Commons, (b) Ken Hill/National Park Service.

Giftige Orangenflüsse

Der Klimawandel in der Arktis verändert die Wasserscheidehydrologie und die Biogeochemie des Wassers. Kürzlich haben Forscher eine

aufkommende Bedrohung in arktischen Bächen beobachtet, die wegen erhöhter Eisen- und toxischer Metalle orange wurde (Abstell 5b). Diese Verfärbung begann im letzten Jahrzehnt, zeitgleich mit der schnellen globalen Erwärmung und dem Permafrosttau (O'Donnell et al. 2024) Verglichen mit klaren Bächen sind orangefarbene Bäche saurer, haben eine höhere Trübung und haben erhöhte Sulfat-, Eisen- und Spurenmetalle. Diese Verfärbung korreliert mit einem Rückgang der Vielfalt der Makroinvertebraten und der Fischfülle, was die Trinkwasser- und Subsistenzfischerei im ländlichen Alaska (O'Donnell et al. 2024)

Sonnenstrahlungsänderungsforschung

Die SRM-Forschung, auch bekannt als *solar Geoengineering-Forschung*, hat in den letzten Jahren dramatisch zugenommen (Abbildung 5c). Es handelt sich um potenziell riskante Techniken, um das Sonnenlicht von der Erde wegzu reflektieren, um die Auswirkungen des Klimawandels zu mildern. Allgemeine Kategorien von SRM umfassen atmosphärische, terrestrische und weltraumgestützte Anwendungen (Keith 2020). Spezifische Methoden umfassen zum Beispiel das Einspritzen von Aerosolen in die Stratosphäre oder die Aufhellung mariner Wolken. Der Weltklimarat (IPCC) ist zu dem Schluss gekommen, dass die stratosphärische Aerosolinjektion die am meisten erforschte SRM-Methode ist, aber es gibt eine Reihe von Umweltbelangen (IPCC 2018, Vioni et al. 2020). SRMs sind auch wegen möglicher unbeabsichtigter Konsequenzen und ethischer Bedenken umstritten. Kritiker argumentieren, dass es fehlgeleitet ist und Wettermuster stören und Emissionsreduktionsbemühungen abschrecken könnte (Whyte 2018). Die Forschung untersucht jedoch weiterhin ihre Machbarkeit und Risiken. SRM wird oft als vorübergehende, potenziell wichtige Lösung angesehen, um sowohl die Erwärmung als auch die entsprechenden Schäden zu reduzieren, einschließlich der hochwichtigen und schnell erwärmenden subpolaren Regionen (Smith et al. 2022). Die Forschung im solaren Geoengineering muss sich darauf konzentrieren, die möglichen ökologischen, sozialen und geopolitischen Auswirkungen zu verstehen sowie die Wirksamkeit und Sicherheit auf regionaler und globaler Ebene zu bewerten (Sovacool et al. 2022). Darüber hinaus ist interdisziplinärer Forschung erforderlich, um ethische, rechtliche und Governance-Rahmen zu erkunden, zusammen mit öffentlicher Wahrnehmung und Akzeptanz, während sie die entscheidende Bedeutung der drastischen Reduzierung der Treibhausgasemissionen

betont. Es gibt eine Konsensstudie als Roadmap für solare Geoengineering-Forschung und Forschungsführung (Nationale Akademien der Wissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Medizin 2021).

Stellungnahme der Klimawissenschaftler zu globalen Temperaturen

Eine Meinungsumfrage 2024 hat die Vorhersagen von Hunderten prominenter Klimawissenschaftler des IPCC, leitenden Autoren und Review-Redakteuren (380 Befragte) enthüllt. Aus persönlicher Sicht gehen fast 80% dieser Wissenschaftler davon aus, dass die globalen Temperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts um mindestens 2,5 °C über dem vorindustriellen Niveau steigen (Carrington 2024). Fast die Hälfte davon sieht einen Anstieg von mindestens 3°C voraus. Nur 6% glauben, dass der international vereinbarte Grenzwert von 1,5°C erreicht wird (Abbildung 5d). Dies entspricht einer früheren Umfrage unter IPCC-Wissenschaftlern, die zeigte, dass etwa 60% eine Erwärmung von mindestens 3°C erwarteten (Tollefson 2021). Diese Projektionen zeichnen ein düsteres Bild der Zukunft, wobei viele Wissenschaftler sich weit verbreitete Hungersnöte, Konflikte, Massenmigration und zunehmende extremes Wetter vorsehen, das alles, was bisher beobachtet wurde, übertreffen wird, was katastrophale Folgen sowohl für die Menschheit als auch für die Biosphäre darstellt (Carrington 2024). Es ist jedoch wichtig, daran zu denken, dass solche Charakterisierungen unter Verschmelzung von wissenschaftlichen Fragen leiden können (d. h. wie viel Erwärmung wir für einen bestimmten Emissionspfad verpflichtet sind) und Fragen der Politik (was Wege noch möglich sind und was die Hindernisse sind). Es gibt zum Beispiel keine Möglichkeit zu wissen, ob die befragten physischen Wissenschaftler des IPCC ihre Einschätzungen auf die Wissenschaft oder einfach auf ihre Ansichten über die politischen Handlungsaussichten (Mann und Hayhoe 2024) basierten.

Eine der zahlreichen Herausforderungen für Wissenschaftler ist die Kommunikation über den Klimawandel (Guenther 2024). Einige haben argumentiert, dass Einstellungen von Pessimismus und Resignation für den Klimaschutz hinderlich sein können. Darüber hinaus sagen einige, dass diejenigen, die sich Aktionen widersetzen, auf alternative Strategien zurückgegriffen haben, einschließlich der Verbreitung von Pessimismus, weil die Annahme eines Gefühls der Hilflosigkeit die Motivation für Maßnahmen untergraben kann (Mann

und Hayhoe 2024). Umgekehrt wurde auch angedeutet, dass Optimismus zu Untätigkeit führt, wenn die Leute denken, dass die Dinge in Ordnung sind und daher keine Maßnahmen erforderlich sind (Wilson 2021). Auf jeden Fall kann die Bedeutung des Tons in diesem Zusammenhang überschätzt werden, und es ist mehr Forschung erforderlich, um motivierende Faktoren für den Klimaschutz besser zu identifizieren (Bamberg et al. 2018)

Mit den zunehmend unbestreitbaren Auswirkungen des Klimawandels ist eine düstere Einschätzung eine ehrliche Einschätzung. Die existentielle Bedrohung durch den Klimawandel zu leugnen, wird immer weniger plausibel. Tatsache ist, dass es von entscheidender Bedeutung ist, jeden Zehntel der Erwärmung zu vermeiden. Anstatt eine Prognose des Klimawandels pessimistisch oder optimistisch zu präsentieren, wollen wir einfach ehrlich handeln und es so sagen, wie es ist. Wir müssen sowohl Dringlichkeit als auch Agentur betonen, wenn es um unsere Charakterisierung der notwendigen Maßnahmen gegen das Klima geht (Mann 2023).

Klimawandel als soziale Gerechtigkeitsfrage

Der Klimawandel ist eine Frage der Vielfalt, der Gerechtigkeit und der Inklusion (DEI), weil die wohlhabenden Menschen, die die meisten Treibhausgase emittieren, im Allgemeinen weniger anfällig für Klimaauswirkungen sind (Zahl 5e). Obwohl die Auswirkungen der Emissionen global sind, sind sie im Globalen Süden (Ngcamu 2023) besonders schwerwiegend. Die Anfälligkeit für den Klimawandel wird durch ein komplexes Zusammenspiel sozialer, wirtschaftlicher und politischer Faktoren geprägt, das historisch vielfältige, unterversorgte und marginalisierte Gemeinschaften überproportional betroffen lässt (Levy und Patz 20152015). Die DEI-Prinzipien unterstreichen die Dringlichkeit, diese Unterschiede anzugehen. Die Einbettung des Klimawandels im Rahmen organisatorischer DEI-Aktivitäten kann dazu beitragen, umfassende und sinnvolle Fortschritte in Richtung Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit zu fördern. Durch die Anerkennung der unverhältnismäßigen Auswirkungen des Klimawandels auf marginalisierte Gemeinschaften können Organisationen darauf hinarbeiten, historische Ungerechtigkeiten zu korrigieren, indem sie Länder im globalen Süden finanzieren, um die Dekarbonisierung aufrechtzuerhalten und gleichzeitig dringende Bedenken hinsichtlich des Klimawandels auszuräumen. Darüber hinaus sind DEI-Überlegungen für die internationale Klimapolitik relevant, zum Beispiel können sie dazu beitragen, die Bemühungen zum schnellen

und gerechten Ausstieg aus fossilen Brennstoffen (Muttitt und Kartha 2020) zu leiten.

Die ethischen Dimensionen des Klimawandels haben viele Glaubensführer dazu gebracht, sich zu diesem Thema zu äußern (z. B. Nhat Hanh 2015, Papst Franziskus 2023). Dies stellt eine Gelegenheit für verschiedene Gemeinden dar, Allianzen rund um das Thema aufzubauen.

Klima-Rückkopplungsschleifen und Kipppunkte

Bewusstsein und Forschung müssen bei Klima-Feedback-Schleifen zunehmen. Feedback-Schleifen sind Prozesse, die die Auswirkungen von Treibhausgasemissionen entweder verstärken oder reduzieren können. Viele bedeutende Rückkopplungsschleifen verstärken die Erwärmung. Mindestens 28 Verstärker-Feedback-Schleifen wurden identifiziert (Tabellen 2a, 2b). Besonders besorgniserregend ist die Permafrost-Rückkopplungsschleife, bei der steigende Temperaturen das Auftauen von Permafrost verursachen. Dieser Prozess setzt mehr Kohlendioxid und Methan frei, was zu einer weiteren Erwärmung führt. Zu den Bereichen der aktiven Klima-Rückkopplungsschleife-Forschung gehören Permafrost-Cloud-Interaktionen (de Vrese et al. 2024), Gletscherschmelzwasser (Pelle et al. 2023) und Biodiversität (Weiskopf et al. 2024). Da die Rückkopplungsschleifen noch nicht vollständig in Klimamodelle integriert sind, könnten die aktuellen Emissionsreduktionspläne die zukünftige Erwärmung angemessen einschränken.

Tabelle 2a.

Zusammenfassung der Verstärkung physischer Rückkopplungsschleifen.

Feedback	Auswirkungen des Klimawandels	Auswirkung auf den Klimawandel
Wasserdampf [†]	- Erhöhung der Wasserdampfgehalt	Der Treibhauseffekt
Seeis-Eedo ^{*†}	Seeis schmelzen oder nicht formen	Albedo
Eisschilde ^{*†‡}	Gletscher- und Eisschildschmelzen/ Instabilität	Albedo

Anstieg des Meeresspiegels ^{†‡}	Meeresspiegel	Albedo (Küstenuntertauchen)
Schneedecke [†]	Schneedecke	Albedo
Wolken [†]	- Wolkenverteilung und optische Eigenschaften	- Wolken-Albedo- und Gewächshauseffekt
Schichtung	Die Schichtung auf dem Seeocean	Kohlenstoffaufnahme durch den Ozean
Löslichkeitspumpe [†]	Atmos. CO ₂	CO ₂ Absorption durch den Ozean
CH ₄ Hydrats ^{*‡}	CH ₄ Hydrat-Verassoziationsraten	Freisetzung von CH ₄ in atmos.
Eis-Aufzug [‡]	Eisschild oder Gletscherhöhe	Gletscher und Eisschild schmelzen, - albedo
antarktische Regenfälle [‡]	Eisblattausmaßung, Niederschlag	Albedo, Tiefseerwärmen

Hinweis: Feedback-Schleifen, die Kippelemente beinhalten können, sind mit Sternchen (*) gekennzeichnet. Als ungefährer Indikator für Feedback-Schleifen, die am ehesten teilweise in bestimmten Klimamodellen enthalten sind, werden Rückkopplungsschleifen, die in Abbildung TS.17 (Feedback-Loops-Börsenübersicht) oder Abbildung 5.29 (biogeochemische Rückkopplungsschleifen) von IPCC (2021) mit Dolchen gekennzeichnet sind. Viele dieser Rückkopplungsschleifen werden wahrscheinlich große Auswirkungen auf das Klima der Erde haben, aber andere könnten spekulativer sein. Die Auswirkungen von Feedbacks wirken auf einer Reihe von Zeitskalen; Rückkopplungsschleifen, von denen wir glauben, dass sie besonders langsam sind, sind mit doppelten Dolchen gekennzeichnet. Symbole deuten auf eine Verringerung hin, die (-), zunehmende und sich ändern. Abkürzungen: atmosphärisch, atmos.; CH₄, Methan; CO₂, Kohlendioxid. Siehe Ripple und Kollegen (2023b) für vollständige Schleifenbeschreibungen, Gruppierungsinformationen, Einschränkungen und ausgewählte Referenzen. Die Tabelle und Bildunterschrift sind von Ripple und Kollegen (2023b) angepasst.

Tabelle 2b.

Zusammenfassung der Verstärkung biologischer Rückkopplungsschleifen.

Feedback	Auswirkungen des Klimawandels	Auswirkung auf den Klimawandel
----------	-------------------------------	--------------------------------

Torflände [†]	- Trocknen und Feuer, - Bodenkohlenstoff	Freisetzung von CO ₂ in atmos.
Feuchtgebiete [†]	- Feuchtgebiet (Zeutung)	CO ₂ seq., - CH ₄ Emissionen
Süßwasser	Wachstum der Aquatic-Anlage	CH ₄ Emissionen
Waldsterben*	Amazon und andere Waldsterben	CO ₂ seq., albedo
Nordgrün	Boreal Waldfläche, arktische Vegetation	CO ₂ seq., albedo
Insekten	Insektenbereiche und Häufigkeiten	CO ₂ seq., albedo
Waldbrand [†]	Brandaktivitäten in einigen Regionen	CO ₂ Emissionen, sedo
Bodenkohlenstoff (anders)	Verlust von Bodenkohlenstoff	CO ₂ Emissionen
Öltöloxid [†]	Boden mikrobielle Aktivität	Lachgasemissionen
Permafrost- Emissionen* [†]	Permafrost-tauen	CO ₂ und CH ₄ Emissionen
Permafrost-Wolke	Permafrost tauen, Landschaft trocknen	Sommerwolken, sedo
Boden und Pflanze ET	ET aus Böden und Pflanzen	Latentwärmefluss
Mikroben (andere)	Mikrobielle Atmungsraten	CO ₂ und CH ₄ Emissionen
Pflanzenstress	Thermostress, Dürren	Pflanzensterblichkeit, CO ₂ seq.
Wüstenbildung	Wüstengebiet	CO ₂ seq., albedo
Produktivität an der Küste	.Küstenökosystemdegradation	Küstenökosystem Kohlenstoff seq.
Metabolisraten	Die Atmungsraten von Phytoplankton	CO ₂ in atmos freigesetzt.

Hinweis: Feedback-Schleifen, die Kippelemente beinhalten können, sind mit Sternchen (*) gekennzeichnet. Als ungefährender Indikator für Feedback-Schleifen, die am ehesten teilweise in bestimmten Klimamodellen enthalten sind, werden Rückkopplungsschleifen, die in Abbildung TS.17 (Feedback-Loops-Börsenübersicht)

oder Abbildung 5.29 (biogeochemische Rückkopplungsschleifen) von IPCC (2021) mit Dolchen gekennzeichnet sind. Viele dieser Rückkopplungsschleifen werden wahrscheinlich große Auswirkungen auf das Klima der Erde haben, aber andere könnten spekulativer sein. Die Auswirkungen von Feedbacks wirken auf einer Reihe von Zeitskalen. Symbole deuten auf eine Verringerung hin, die (-), zunehmende und sich ändern. Abkürzungen: atmosphärisch, atmos.; CH₄, Methan; CO₂, Kohlendioxid; Evapotranspiration, ET; Sequestrierung, seq. Siehe Ripple und Kollegen (2023b) für vollständige Schleifenbeschreibungen, Gruppierungsinformationen, Einschränkungen und ausgewählte Referenzen. Die Tabelle und Bildunterschrift sind von Ripple und Kollegen (2023b) mit dem Zusatz des Permafrost-Cloud-Feedbacks (de Vrese et al. 2024)

Einige Klima-Rückkopplungsschleifen sind mit Kipp-Punkten verbunden, was möglicherweise größere und irreversible Veränderungen im Erdsystem auslöst, ohne weitere Drucke durch menschliche Aktivitäten zu verhindern. Trinkgeldelemente sind biophysikalische Systeme auf der Erde mit Kippunktverhalten, die zur Regulierung des Klimasystems beitragen (Lenton et al. 2008) Sie wurden kürzlich auf ihre Trinkgeld-Empfindlichkeit untersucht. Fünf von sechzehn Klimakippen werden wahrscheinlich ihre Kippunkte bei 1,5°C überschreiten: der grönländische Eisschild, der westantarktische Eisschild, der boreale Permafrost, die Korallenriffe mit niedrigen Breiten und das Barents-Meereseis (Armstrong McKay et al. 2022). Mehrere Klimakippenelemente sind miteinander verbunden, und wenn ein Trinkgeld tippt, können andere Trinkgeld geben, was eine Kippunktkaskade auslöst (Wunderling et al. 2024) Insgesamt deutet dies auf eine komplexe Situation hin, in der die Klimakontrolle von Rückkopplungsschleifen und Kippunktssystemen auf eine Weise miteinander verbunden ist, die selbstverwetternde Prozesse auslösen könnte, die die Erwärmung außerhalb der menschlichen Kontrolle verstärken. Daher empfehlen wir dem IPCC, einen Sonderbericht über Feedbackschleifen und Kippunkte zu veröffentlichen.

Risiko des gesellschaftlichen Zusammenbruchs

Der Klimanotstand ist kein isoliertes Thema. Die globale Erwärmung, obwohl sie katastrophal ist, ist nur ein Aspekt einer tiefen Polykrise, die Umweltzerstörung, steigende wirtschaftliche Ungleichheit und Biodiversitätsverlust umfasst (Hoyer et al. 2023). Der Klimawandel ist ein eklatantes Symptom eines tieferen systemischen Problems: ökologische Überschreitung, bei der der menschliche Konsum die

Regenerationsfähigkeit der Erde übertrifft (Rees 2023, Ripple et al. 2024) Overshoot ist ein von Natur aus instabiler Zustand, der nicht unbegrenzt bestehen kann. Mit zunehmendem Druck steigt und das Risiko, dass das Klimasystem der Erde auf einen katastrophalen Zustand umgestellt wird, steigt (Steffen et al. 2018) haben immer mehr Wissenschaftler begonnen, die Möglichkeit eines gesellschaftlichen Zusammenbruchs zu erforschen (Brozovic 2023). Selbst ohne den globalen Zusammenbruch könnte der Klimawandel bis 2050 viele Millionen zusätzliche Todesfälle verursachen (WHO 2023).

Zusammen mit der breiteren Gefahr der Überschreitung könnte der Klimawandel zu einem Zusammenbruch beitragen, indem er die Wahrscheinlichkeit katastrophaler Risiken wie internationalen Konflikten erhöht oder mehrere Belastungen verursacht, was zu systemweiten Synchronausfällen führt (Kemp et al. 2022). Die Zahl der veröffentlichten Artikel mit *Klimawandel* und *gesellschaftlicher* Kollaps-Sprache ist dramatisch gestiegen (Zahl 5f ; ergänzende Methoden). Der Klimawandel hat bereits Millionen von Menschen vertrieben und hat das Potenzial, Hunderte von Millionen oder sogar Milliarden mehr zu verdrängen, was zu einer größeren geopolitischen Instabilität (Tabelle S3) führt. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte etwa ein Drittel der Menschen weltweit außerhalb der menschlichen Klimazone sein, da sie einem erhöhten Krankheitsrisiko und früherem Tod, Hungersnot und einer Vielzahl anderer nachteiliger Ergebnisse ausgesetzt sind (Lenton et al. 2023).

Schlußfolgerungen

Trotz sechs IPCC-Berichten, 28 COP-Treffen, Hunderten von anderen Berichten und Zehntausenden von wissenschaftlichen Papieren hat die Welt beim Klimawandel nur sehr geringe Fortschritte gemacht, zum Teil wegen des harten Widerstands derjenigen, die finanziell vom aktuellen System mit fossilen Brennstoffen profitieren. Wir gehen derzeit in die falsche Richtung, und unser steigender Verbrauch fossiler Brennstoffe und steigende Treibhausgasemissionen treiben uns in eine Klimakatastrophe. Wir befürchten die Gefahr des Klimas. Die Beweise, die wir beobachten, sind sowohl alarmierend als auch unbestreitbar, aber es ist genau dieser Schock, der uns zum Handeln treibt. Wir erkennen die tiefe Dringlichkeit an, diese globale Herausforderung anzugehen, insbesondere die schrecklichen Aussichten für die Armen der Welt. Wir spüren den Mut und die

Entschlossenheit, transformative wissenschaftlich fundierte Lösungen in allen Aspekten der Gesellschaft zu suchen ([Tabelle S4](#)). Unser Ziel ist es, klare, evidenzbasierte Erkenntnisse zu liefern, die informierte und mutige Reaktionen von Bürgern an Forscher und Staats- und Regierungschefs der Welt inspirieren.

Der rasche Ausstieg aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe sollte oberste Priorität haben. Dies könnte zum Teil durch einen ausreichend hohen globalen Kohlenstoffpreis erreicht werden, der die Emissionen der Reichen einschränken und gleichzeitig möglicherweise Mittel für dringend benötigte Klimaschutz- und Anpassungsprogramme bereitstellen könnte. Darüber hinaus ist die Preisgestaltung und Verringerung der Methanemissionen entscheidend, um den Klimawandel wirksam zu schwächen. Methan ist ein starkes Treibhausgas, und im Gegensatz zu Kohlendioxid, das jahrhundertlang in der Atmosphäre fortbesteht, hat Methan eine relativ kurze atmosphärische Lebensdauer, was kurzfristig die Reduzierungen beeinträchtigt ([Shindell et al. 2024](#)). Eine drastische Senkung der Methanemissionen kann die kurzfristige Rate der globalen Erwärmung verlangsamen und dazu beitragen, Kipppunkte und extreme Klimaauswirkungen zu vermeiden.

In einer Welt mit endlichen Ressourcen ist unbegrenztes Wachstum eine gefährliche Illusion. Wir brauchen mutigen, transformativen Wandel: drastische Reduzierung des Überkonsums und der Verschwendung, insbesondere durch die Wohlhabenden, die Stabilisierung und allmähliche Reduzierung der menschlichen Bevölkerung durch die Stärkung von Bildung und Rechten für Mädchen und Frauen, die Reformierung von Lebensmittelproduktionssystemen zur Unterstützung von mehr pflanzlichem Essen und die Einführung eines ökologischen und wirtschaftsnach wie folgt, nach dem Wachstum, der soziale Gerechtigkeit gewährleistet ([Tabelle S4](#)). Der Klimawandel-Unterricht sollte in die Kernlehrpläne der Sekundar- und Hochschulbildung weltweit integriert werden, um das Bewusstsein zu schärfen, die Klimakompetenz zu verbessern und Lernende zu befähigen, Maßnahmen zu ergreifen. Wir brauchen auch mehr sofortige Anstrengungen, um Ökosysteme zu schützen, wiederherzustellen oder zu rewildern.

Der Anstieg der allzeitlichen Klimakatastrophen zeigt, dass wir uns in einer großen Krise befinden, die schlimmer wird, wenn wir mit dem normalen Geschäft weitermachen. Heute sind unsere Maßnahmen mehr denn je wichtig für das stabile Klimasystem, das uns seit

Tausenden von Jahren unterstützt. Die Zukunft der Menschheit hängt von unserer Kreativität, moralischen Faser und Bestreben ab. Wir müssen dringend die ökologische Überschreitung reduzieren und sofortigen großen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel verfolgen, um kurzfristige Schäden zu begrenzen. Nur durch entschlossenes Handeln können wir die natürliche Welt schützen, tiefgreifendes menschliches Leid abwenden und dafür sorgen, dass zukünftige Generationen die lebenswerte Welt erben, die sie verdienen. Die Zukunft der Menschheit hängt in der Schwebe.

Anerkennung

Wir widmen diesen Artikel dem Gedenken an Saleemul Huq (1952–2023). Wir danken Wake Smith, Mark Olsoe, Genevieve Guenther, Terry Hughes, Robert R. Dunn, William H. Calvin, Katherine Graubard und Karen Wolfgang für hilfreiche Vorschläge. Die Primärfinanzierung ging von der CO2 Foundation und Roger Worthington ein. JCS wurde vom Stipendium der Danish National Research Foundation DNRF173 unterstützt.

Die Warnung der Weltwissenschaftler vor einem Klimanotstandspapier (Ripple et al. 2020) hat jetzt mehr als 15.600 Unterzeichner aus 165 Ländern, und wir sammeln weiterhin Unterschriften von Wissenschaftlern. Um mehr zu unterschreiben oder zu erfahren, besuchen Sie die Website der Alliance of World Scientists unter <https://scientistwarning.forestry.oregonstate.edu>. Um *A Scientist's Warning* zu sehen, einen kürzlich erschienenen Dokumentarfilm über Wissenschaftler, der sich äußern, besuchen Sie <https://www.youtube.com/watch?v=byXGCPo-8ow>.

Autor Biografie

William J. Ripple (bill.ripple-oregonstate.edu) und Beverly E. Law ist mit dem Department of Forest Ecosystems and Society an der Oregon State University (OSU) in Corvallis, Oregon, in den Vereinigten Staaten verbunden. Christopher Wolf (christopher.wolf-oregonstate.edu) und Jillian W. Gregg ist mit Terrestrial Ecosystems Research Associates in Corvallis, Oregon, in den Vereinigten Staaten verbunden. Johan Rockström und Stefan Rahmstorf sind dem Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft in Potsdam. Johan Rockström ist auch mit dem Institut für Umweltwissenschaft und -geographie der Universität Potsdam in

Potsdam verbunden. Michael E. Mann ist mit dem Department of Earth and Environmental Science an der University of Pennsylvania in Philadelphia, Pennsylvania, in den Vereinigten Staaten verbunden. Naomi Oreskes ist mit dem Department of the History of Science an der Harvard University in Cambridge, Massachusetts, in den Vereinigten Staaten verbunden. Timothy M. Lenton ist mit dem Global Systems Institute an der University of Exeter in Exeter, England, im Vereinigten Königreich verbunden. Thomas M. Newsome ist mit der School of Life and Environmental Sciences an der University of Sydney in Sydney, New South Wales, Australien, verbunden. Chi Xu ist an der School of Life Sciences der Universität Nanjing in Nanjing, China, angeschlossen. Jens-Christian Svenning ist dem Zentrum für Ökologie in einer neuartigen Biosphäre im Fachbereich Biologie der Universität Aarhus in Aarhus, Dänemark, angegliedert. Cássio Cardoso Pereira ist mit der Universidade Federal de Minas Gerais in Minas Gerais, Brasilien, verbunden. Thomas W. Crowther ist dem Institut für Integrative Biologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, Schweiz, angeschlossen.

zitierte Referenzen

Armstrong McKay DI, et al.2022.Über die globale Erwärmung von 1,5°C könnte mehrere Klima-Kip-Punkte auslösen.*Wissenschaft* 377:eabn7950.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Arrighi J, et al.2024.Klimawandel und die Eskalation der globalen Extremwärme: Risikosadressierung und Bekämpfung.Klima Zentral, Klimazentrum, Weltwettervorhersage für die Zuschreibung.

Bamberg S,Rees JH,Schulte M.2018.Umweltschutz durch gesellschaftlichen Wandel: Was die Psychologie über kollektiven Klimaschutz weiß – und was sie herausfinden muss. Seiten185–213inClayton S, Manning C, eds.*Psychologie und Klimawandel*.Elsevier.

[Google Scholar](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Scheunen Cet al.2024a.Extreme Sahel-Wärmewelle, die am Ende des Ramadans die stark gefährdete Bevölkerung traf, wäre nicht ohne den Klimawandel entstanden.Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/110771>.

Scheunen Cet al.2024b.Heiße, trockene und windige Bedingungen, die verheerende Waldbrände im Pantanal verursachten, sind aufgrund des Klimawandels um 40% intensiver.<http://hdl.handle.net/10044/1/113726>.

Boulton CA, Lenton TM, Boers N. 2022. Prostr der ausgeprägten Verlust der Widerstandsfähigkeit des Amazonas-Regenwalds seit Anfang der 2000er Jahre. *Klimawandel* 12:271–278.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Brozovic D. 2023. Gesellschaftlicher Zusammenbruch: Literaturrecherche. *Futures* 145:103075.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Calvin WH. 2020. Extremes Wetter: Und was man tun muss. CO₂ Foundation. <https://www.amazon.com/EXTREME-WEATHER-what-do-ebook/dp/B0841R8LV7>

Carrington D. 2024. Die Top-Klimawissenschaftler der Welt erwarten, dass die globale Erwärmung das 1,5-Grad-Ziel übergehen soll. *Guardian* (8. Mai 2024). www.theguardian.com/environment/article/2024/may/08/world-snvironment-silure-survey-global-temperatur.

Cheng L et al. 2024. Neue Rekordtemperaturen und damit verbundene Klimaindikatoren im Jahr 2023. *Fortschritte in den Atmosphärenwissenschaften* 41:1068–1082.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Clarke B et al. 2024. Klimawandel, El Nio und Infrastruktur versagen hinter massiven Überschwemmungen im Süden Brasiliens. Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/111882>.

de Vrese P, Stapel T, Gayler V, Brovkin V. 2024. Permafrost-Cloud-Feedback könnte Klimawandel verstärken. *Geophysikalische Forschungsbriefe* 51:e2024GL109034.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Ebi K et al. 2021. Heißes Wetter und Hitzeextreme: Gesundheitsrisiken. *Lancet* 398:698–708.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Esper J, Torbenson M, Büntgen U. 2024. 2023 Sommerwärme in den letzten 2000 Jahren beispiellos. *Natur* 631:94–97.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Flores B et al. 2024. Kritische Übergänge im Amazonas-waldsystem. *Natur* 626:555–564.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Goldman L, Carter S. 2024. Die 2023-Baum-Verlustdaten von Global Forest Watch wurden erklärt. Global Forrest Watch (4. April 2024). www.globalforestwatch.org/blog/data-and-tools/2023-tree-cover-loss-data-explained.

Goreau TJ, Hayes RL. 2024. 2023 Rekordhitzewellen im Meer: Korallenriffbleiche, die HotSpot-Karten zeigen globale Meeresoberflächentemperaturextreme, Korallensterblichkeit und Veränderungen im Ozean. *Oxford Open Klimawechsel* 4:kgae005.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Günther G. 2024. *Die Sprache der Klimapolitik: Fossile Brennstoffpropaganda und wie man es anfangt*. Oxford University Press.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Guterres A. 2024. Nach drei heißesten Tagen seit Beginn der Aufzeichnungen startet der Generalsekretär einen Aufruf, sich um die meisten Schwächsten zu kümmern, die Arbeitnehmer zu schützen und die Widerstandsfähigkeit mit Daten, Wissenschaft zu stärken. Vereinte Nationen (25. Juli 2024). <https://press.un.org/de/2024/sgsm22319.doc.htm>.

[WorldCat](#)

Hansen JE, et al. 2023. Globale Erwärmung in der Pipeline. *Oxford Open Klimawechsel* 3:kgad008.

Hoegh-Guldberg O, Poloczanska ES, Skirving W, Dove S. 2017. Korallenriff-Ökosysteme unter Klimawandel und Ozeanversauerung. *Die Grenzen der Marinenwissenschaft* 4:158.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

CenCO2PIP Konsortium, Hönisch B, et al. 2023. Auf der Weg zu einer cenozoischen Geschichte atmosphärischer CO₂. *Wissenschaft* 382:eadi5177.

Horwath Met al. 2021. Globales Budget für den Meeresspiegel und das Budget für Ozeane mit Schwerpunkt auf fortgeschrittenen Datenprodukten und Unsicherheitscharakterisierung. *Diskussionen über Datendiskussionen über Erdsystem* 2021:1–51.

[Google Scholar](#) [WorldCat](#)

Howard JT, Androne N, Alcover KC, Santos-Lozada AR. 2024. Trends der hitzevermarkten Todesfälle in den USA, 1999–2023. *JAMA*.

[Google Scholar](#) [WorldCat](#)

Hoyer D, Bennett JS, Rotdisch J, Halter S, Howard R, Benam M, Levine J, Ludlow F, Feinman G, Turchin P. 2023. Navigieren in der Polykrise: Langfristige soziokulturelle Faktoren prägen die Reaktion auf sich veränderndes Klima. *Philosophische Transaktionen der Royal Society B* 378:20220402.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Umarmt TP et al. 2018. Die Erderwärmung verändert Korallenriff-Montagen. *Natur*

556:492–496.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

[IPCC] Weltklimarat.2018.Globale Erwärmung von 1,5°C: Ein IPCC-Sonderbericht über die Auswirkungen der globalen Erwärmung von 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau und den verwandter globalen Treibhausgasemissionspfade, im Kontext der Stärkung der globalen Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltige Entwicklung und Bemühungen zur Beseitigung der Armut.IPCC.

Keith DW.2020.Geotechnik Klima: Geschichte und Prospekt 1. Seiten207–246in Maynard A, Stilgoe J, eds.*Die Ethik der Nanotechnologie, Geotechnik und sauberen Energie*.Routledge.

Kemp Let al.2022.Klima-Endspiel: Katastrophale Szenarien des Klimawandels erkunden.*Verfahren der Nationalen Akademie der Wissenschaften* 119:e2108146119.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Kimutai Jet al.2024.Stadtplanung am Herzen von zunehmend schweren ostafrikanischen Überschwemmungen in einer sich erwärmenden Welt.Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/111671>.

Kulp SA,Strauss BH.2019.Neue Höhendaten dreifache Schätzungen der globalen Anfälligkeit für den Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen an der Küste.*Naturtechnik* 10:1–12.

[Google Scholar](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Lee JJ.2024.NASA-Analyse sieht Anstieg des globalen Meeresspiegels von 2023 aufgrund von El Nio.NASA Sea Level Change (27. März 2024). <https://sealevel.nasa.gov/news/270/nasa-analysis-sees-spike-in-2023-global-sea-level-due-to-el-nino>.

[WorldCat](#)

Lenton TMet al.2023.Quantifizierung der menschlichen Kosten der globalen Erwärmung.*Nachhaltigkeit* 6:1237–1247.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Lenton TM,Held H,Kriegler E,Saal JW,Lucht W,Rahmstorf S,Schellnhuber HJ.2008.Trinkelement im Klimasystem der Erde.*Verfahren der Nationalen Akademie der Wissenschaften* 105:1786–1793.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Levy BS,Patz JA.2015.Klimawandel, Menschenrechte und soziale Gerechtigkeit.*Annals von Global Health* 81:310–322.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Malabarba LR,Becker FG,Pereira MJR,Borges-Martins M.2024.Mega-Engineering-Projekte werden eine Wiederholung der verheerenden Überschwemmungen im Süden Brasiliens nicht stoppen.*Natur* 630:35.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Mann ME.2023.*Unser fragiler Moment: Wie Lehren aus der Vergangenheit der Erde uns helfen können, die Klimakrise zu überleben*.PublicAffairs.

[Google Scholar](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Mann M,Hayhoe K.2024.Das Gegenmittel zum Untergang tut.Financial Times (15. Mai 2024). www.sustainableviews.com/the-antidote-to-doom-is-doing-ac97ab67.

Masson-Delmotte Vet al. , eds.2021.*Klimawandel 2021: Die physische Wissenschaftsbasis*.Presse an der Universität Cambridge.

[Google Scholar](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Matthews HD,Wynes S.2022.Aktuelle globale Bemühungen reichen nicht aus, um die Erwärmung auf 1,5° C zu begrenzen.*Wissenschaft* 376:1404–1409.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Muttitt G,Kartha S.2020.Gerechtigkeit, Klimagerechtigkeit und Förderung fossiler Brennstoffe: Grundsätze für einen verwalteten Ausstieg.*Klimapolitik* 20:1024–1042.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Nationale Akademien der Wissenschaften,Technik und Medizin.2021.*Sonnenlicht reflektieren: Empfehlungen für Solar Geoengineering Forschung und Forschungsführung*.Presse der Nationalen Akademien.

[Google Scholar](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Ngcamu BS.2023.Auswirkungen des Klimawandels auf gefährdete Bevölkerungsgruppen im globalen Süden: Eine systematische Überprüfung.*Naturgefahren* 118:977–991.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Nhat Hanh T.2015.Thich Nhat Hanhs Erklärung zum Klimawandel für die Vereinten Nationen.Plum Village (2. Juli 2015). <https://plumvillage.org/about/thich-nhat-hanh/letters/t-t-that-hanhs-statement-on-climate-on-climate--climate-for-unfccc>.

[NOAA] Nationale ozeanische und atmosphärische Verwaltung.2024.Während eines Jahres der Extreme segeln die Kohlendioxidwerte schneller als je zuvor.NOAA (6. Juni 2024). www.noaa.gov/news-release/duryear-of-extremes-carbon-oxid-levels-s-s-schneller-s-schneller-als-je-zuvor.

O'Donnell JAet al.2024.Metallmobilisierung vom Auftauen des Permafrosts bis zu aquatischen Ökosystemen treibt das Rosten der arktischen Bäche

an.*Kommunikation Erde und Umwelt* 5:268.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Die Pearce O,Ware J.2024.*Klima-Bednung 2024 6 Monate Klimachaos seit COP28*.Christian Aid.

[Google Scholar](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Pelle T,Greenbaum JS,Dow CF,Jenkins A,Morlighem M.2023.Subglazialer Ausladung beschleunigt zukünftige Rückzug von Denman und Scott Glaciers, Ostantarktis.*Wissenschaft schreitet voran* 9:eadi9014.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Pinto icht et al.2024.Extreme Hitze töten mehr als 100 Menschen in Mexiko Hotter und viel wahrscheinlicher aufgrund des Klimawandels.Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/112370>.

Papst Franziskus.2023.Apostolisches Schreiben: Laudate deum. Vatikan (4. Oktober 2023).

Rees WIR.2023.Die menschliche Ökologie der Überschreitung: Warum eine große „Bevölkerungskorrektur“ unvermeidlich ist.*Welt* 4:509–527.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

REN21.2024.Erneuerbare Energien 2024: Globaler Statusbericht: Energieversorgung 2024.REN21. www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024-Supply.pdf.

Ripple WJ,Wolf C,Neu TM,Barnard P,Moomaw WR.2020.Die Warnung der Weltwissenschaftler vor einem Klimanotstand.*BioScience* 70:8–12.

[Google Scholar](#) [WorldCat](#)

Ripple WJ,Moomaw WR,Wolf C,Betts MG,Recht BE,Gregg J,Neu TM.2022.Sechs Schritte zur Integration des Klimaschutzes mit Anpassung an soziale Gerechtigkeit.*Umweltwissenschaft und Politik* 128:41–44.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Ripple WJet al.2023a.Der Zustand des Klimaberichts 2023: Eintritt ins Neuland.*BioScience* 73:841–850.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Ripple WJ,Wolf C,Lenton TM,Gregg JW,Natali SM,Duffy PB,Rockström J,Schellnhuber HJ.2023b.Viele riskante Feedback-Schleifen verstärken die Notwendigkeit des Klimaschutzes.*Eine Erde* 6:86–91.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Ripple WJ,Wolf C,van Vuuren DP,Gregg JW,Lenzen M.2024.Ein ökologischer und

sozial gerechter Klimaschutzpfad für einen Planeten in Gefahr. *Briefe für Umweltforschung* 19:021001.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Robinson A, Lehmann J, Barriopedro D, Rahmstorf S, Coumou D. 2021. Zunehmende Hitze- und Niederschlagsextreme jetzt weit außerhalb des historischen Klimas. *NPJ Klima- und Atmosphärenwissenschaft* 4:45.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Roser M. 2020. Warum sind die erneuerbaren Energien so schnell so billig geworden? Unsere Welt in Daten. (6. Juni 2024; <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>).

Rousi E, Kornhuber K, Beobid-Arsuaga G, Luo F, Coumou D. 2022. Beschleunigte westeuropäische Hitzewellentrends, die mit stärker anhaltenden Doppeljets über Eurasien verbunden sind. *Naturtechnik* 13:1–11.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Shindell Det al. 2024. Der Methan Imperativ. *Frontiers in Science* 2:1349770.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Smith W, Bhattarai U, MacMartin DG, Lee WR, Vioni D, Kravitz B, Reis CV. 2022. Ein subpolar fokussiertes Stratosphären-Aerosol-Injektions-Szenario. *Umweltforschung* 4:095009.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Sovacool BK, Baum CM, Niedrig S. 2022. Ermittlung unserer klimapolitischen Zukunft: Gutachten zu negativen Emissionen und Sonneneinstrahlungspfaden. *Minderungs- und Anpassungsstrategien für den globalen Wandel* 27:58.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Steffen Wet al. 2018. Trajektorien des Erdsystems im Anthropozän. *Verfahren der Nationalen Akademie der Wissenschaften* 115:8252–8259.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Stendel M, Franziskus J, Weiß R, Williams PD, Woollings T. 2021. Jetstream und Klimawandel. Seiten 327–357 in Letcher T, ed. *Klimawandel*, 3. ed Elsevier.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [Google Vorschau](#) [WorldCat](#) [COPAC](#)

Supran G, Rahmstorf S, Oreskes N. 2023. Assessing ExxonMobils Projektionen der globalen Erwärmung. *Wissenschaft* 379:eabk0063.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Thiem H. 2024. Wie ist die globale Korallenbleichung 2023-24 im Vergleich zu

vergangenen Ereignissen? National Oceanic and Atmospheric Administration (21. Mai 2024). www.climate.gov/news-features/featured-images/how-does-2023-24-global-coral-bleaching-compare-past-events.

Tian H et al. 2024. Globales Lachgasbudget (1980–2020). *Daten zur Erdsystemwissenschaft* 16:2543–2604.

Tollefson J. 2021. Top-Klimawissenschaftler sind skeptisch, dass die Nationen die globale Erwärmung zügeln werden. *Natur* 599:22–24.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

[UNEP] Umweltprogramm der Vereinten Nationen. 2023. *Emissions Gap Report 2023: Gebrochener Rekord: Temperaturen erreichen neue Höchstmengen, aber die Welt rettet (noch einmal)*. UNEP.

Vecellio DJ, Kong Q, Kenney WL, Huber M. 2023. Großes erhöhtes Risiko für den Menschen als Folge der empirisch ermittelten, feucht feuchten Hitzestresstoleranz. *Verfahren der Nationalen Akademie der Wissenschaften* 120:e2305427120.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Vilani RM, Ferrante L, Fearnside PM. 2023. Die ersten Akte des neuen brasilianischen Präsidenten: Lulas neue Amazon-Institutionen. *Umweltschutz* 50:148–151.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Visioni D, Slessarev E, MacMartin DG, Mahowald NM, Goodale CL, Xia L. 2020. Was nach oben geht, muss sinken: Auswirkungen der Ablagerung in einem Sulfat-Geoengineering-Szenario. *Briefe für Umweltforschung* 15:094063.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Weiskopf SR, et al. 2024. Biodiversitätsverlust reduziert globale terrestrische Kohlenstoffspeicherung. *Naturtechnik* 15:4354.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Weiß RH et al. 2023. Die beispiellose Hitzewelle im pazifischen Nordwesten im Juni 2021. *Naturtechnik* 14:727.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [PubMed](#) [WorldCat](#)

Whyte KP. 2018. Indigenität im Geoengineering-Diskurs: Einige Überlegungen. *Ethik, Politik, Umwelt* 21:289–307.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Wilson PJ. 2021. Klimawandel und Optimismus. *Philosophie* 6:61.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Holzkopf AJ,Hicks CC,Norström AV,Williams GJ,Graham NA.2019.Korallenriff-Ökosystemdienstleistungen im Anthropozän.*Funktionsökologie* 33:1023–1034.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

[WHO] Weltgesundheitsorganisation.2023.Klimawandel WHO (12. Oktober 2023).

www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-and-health.

Wunderling Net al.2024.Wechselwirkungen und Kaskaden zum Klima- Kippunkt: Ein Rückblick.*Erdsystemdynamik* 15:41–74.

[Google Scholar](#) [Crossref](#) [WorldCat](#)

Zacharja M,Clarke B,Scheunen C,Valhberg M,Banthiya A,Thalheimer L,Otto FEL.2024a.Klimawandel erhöht starke Niederschläge mit dem ansächtlichen Sturm Bettina über dem Schwarzen Meer.Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/108704>.

Zacharja M,Clarke B,Vahlberg M,Marghidan CP,Singh R,Sengupta S,Otto FEL.2024b.Der Klimawandel machte die tödlichen Hitzewellen, die Millionen von hochverletzlichen Menschen in großen Teilen Asiens häufiger und extremer treffen.Imperial College London. <http://hdl.handle.net/10044/1/111274>.

Anmerkung der Autoren

Co-Autoren William J. Ripple und Christopher Wolf trugen gleichermaßen zu dem Werk bei.

Der Autor(en) 2024. Veröffentlicht von Oxford University Press im Auftrag des American Institute of Biological Sciences.

Dieser Artikel wird unter den Bedingungen der Oxford University Press, Standard Journals Publication Model ([https://academic.oup.com/journals/pages/open-access/funder-policies/chorus/standard-publication"-model](https://academic.oup.com/journals/pages/open-access/funder-policies/chorus/standard-publication)) veröffentlicht und vertrieben.

Zusatzdaten

[biae087-Supplemental-Files](#)

Die Methoden und Details der planetarischen Vitalzeichenvariablen, die in diesem Bericht zusammen mit anderen Diskussionen verwendet werden, erscheinen in der Zusatzdatei S1 dieses Artikels. Eine Liste der wissenschaftlichen Unterzeichner für Ripple und Kollegen (2020) vom 29. März 2023 erscheint in der Zusatzdatei S2 dieses Artikels. Beachten Sie, dass diese Signaturen nicht für den aktuellen Artikel sind.

- Zip-Datei