

Der Klimazustandsbericht 2024: Gefährliche Zeiten auf dem Planeten Erde FREE

✉, ✉, , , , , , , ... [Mehr anzeigen](#)
[Anmerkungen des Autors](#)

BioScience, biae087, <https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>

Veröffentlicht: 08. Oktober 2024 **Geschichte des Artikels** ▼

Abschnitt "Ausgabe": [Sonderbericht](#)

Wir stehen am Rande einer unumkehrbaren Klimakatastrophe. Dies ist ein globaler Notfall, der über jeden Zweifel erhaben ist. Ein Großteil des Gefüges 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 Wissenschaftlern, Alarm vor den drohenden Gefahren des Klimawandels, der durch steigende Treibhausgasemissionen und Veränderungen der Ökosysteme verursacht wird (Ripple et al. 2020). Ein halbes Jahrhundert lang wurde die globale Erwärmung korrekt vorhergesagt, noch bevor sie beobachtet wurde – und zwar nicht nur von unabhängigen akademischen Wissenschaftlern, sondern auch von Unternehmen der fossilen Brennstoffe (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 aller Zeiten fanden im Juli 2024 statt (Guterres 2024), und die derzeitige Politik bringt uns auf den Weg zu einer Spitzenerwärmung von etwa 2,7 Grad Celsius (°C) bis 2100 (UNEP 2023). Tragischerweise gelingt es uns nicht, schwerwiegende Auswirkungen zu vermeiden, und wir können jetzt nur hoffen, das Ausmaß des Schadens zu begrenzen. Wir sind Zeugen der düsteren Realität der Prognosen, da die Klimaauswirkungen eskalieren und Szenen beispielloser Katastrophen auf der ganzen Welt und menschlichen und nichtmenschlichen Leids hervorbringen. Wir befinden uns inmitten eines abrupten Klimaumbruchs, einer schlimmen

Situation, die es in den Annalen der menschlichen Existenz noch nie gegeben hat. Wir haben den Planeten nun in klimatische Bedingungen gebracht, die weder wir noch unsere prähistorischen Verwandten innerhalb unserer Gattung, *des Homo*, erlebt haben ([ergänzende Figur S1](#); CenCO2PIP Consortium et al. [2023](#)).

Im vergangenen Jahr erlebten wir rekordverdächtige Meeresoberflächentemperaturen (Cheng et al. [2024](#)), den heißesten außertropischen Sommer auf der Nordhalbkugel seit 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 extremeres Wetter sehen (Masson-Delmotte et al. [2021](#)). Vom Menschen verursachte Kohlendioxidemissionen und andere Treibhausgase sind die Haupttreiber des Klimawandels. Im Jahr 2022 entfallen etwa 90 % dieser Emissionen auf die weltweite Verbrennung fossiler Brennstoffe und industrielle Prozesse, während Landnutzungsänderungen, vor allem die Abholzung von Wäldern, etwa 10 % ausmachen ([ergänzende Figur S2](#)).

Unser Ziel in diesem Artikel ist es, direkt mit Forschern, politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sehen wir es als unsere moralische Pflicht und die unserer Institutionen an, die Menschheit so deutlich wie möglich auf die wachsenden Bedrohungen aufmerksam zu machen, mit denen wir konfrontiert sind, und Führungsstärke bei der Bewältigung dieser Bedrohungen zu zeigen. In diesem Bericht analysieren wir die neuesten Trends bei einer Vielzahl von planetaren Vitalparametern. Wir geben auch einen Überblick über bemerkenswerte klimabedingte Katastrophen der letzten Zeit, beleuchten wichtige klimabezogene Themen und diskutieren notwendige politische Interventionen. Dieser Bericht ist Teil unserer Reihe von prägnanten jährlichen Updates zum Zustand des Klimas.

Jüngste Trends bei planetaren Vitalparametern

In 2023, various historical temperature and ice extent records were broken by enormous margins (figure 1; Ripple et al. 2023a). Both global and North Atlantic sea surface temperatures were far above their 1991–2024 averages for much of the year—a pattern that has continued well into 2024 (figure 1a, 1b). Although Antarctic and global sea ice extent have now come into range of previous years, they remain well below their 1993–2024 averages (figure 1c, 1d). Global daily mean temperatures were at record levels for nearly half of 2023 and much of 2024 (figure 1e). On our current emissions trajectory, we may regularly surpass current temperature records in future years (Matthews and Wynes 2022).

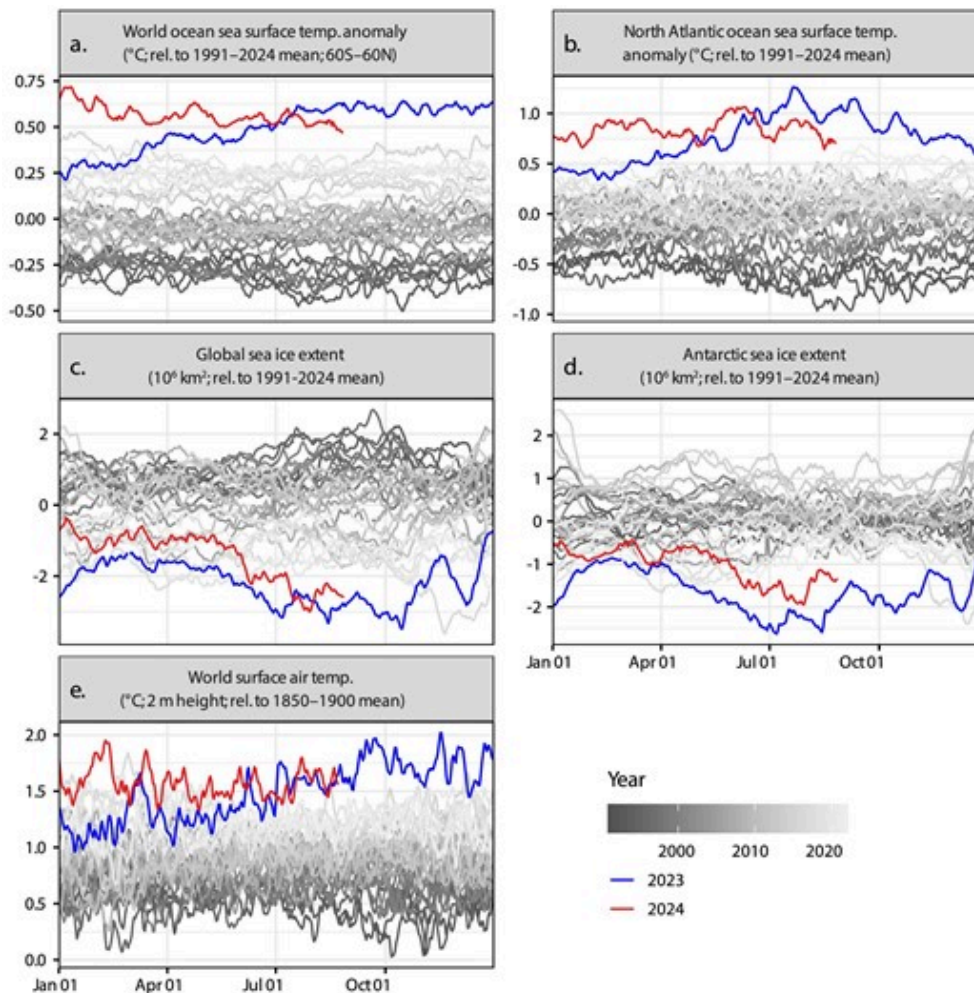


Abbildung 1. Ungewöhnliche Klimaanomalien in den Jahren 2023 und 2024. Die Ozeantemperaturen (a, b) liegen derzeit weit außerhalb ihrer historischen Bereiche. Diese Anomalien spiegeln die kombinierte Wirkung des langfristigen Klimawandels und der kurzfristigen Variabilität wider. Quellen und zusätzliche Details zu den einzelnen Variablen finden Sie in der ergänzenden Datei S1. Jede Linie entspricht einem anderen Jahr, wobei dunkleres Grau für spätere Jahre steht. Bei allen angezeigten Variablen handelt es sich um tägliche Schätzungen.

Von den 35 planetaren Vitalparametern, die wir jährlich verfolgen (Abbildungen 2 und 3), befinden sich 25 auf Rekordniveau ([ergänzende Tabelle S1](#)). Das weltweite Versagen, einen schnellen und sozial gerechten Ausstieg aus fossilen Brennstoffen zu unterstützen, hat zu rapide eskalierenden klimabedingten Auswirkungen geführt (Tabelle 1). Im Folgenden konzentrieren wir uns auf Variablen, die sich entweder stark verändert haben oder Rekordextreme erreicht haben.

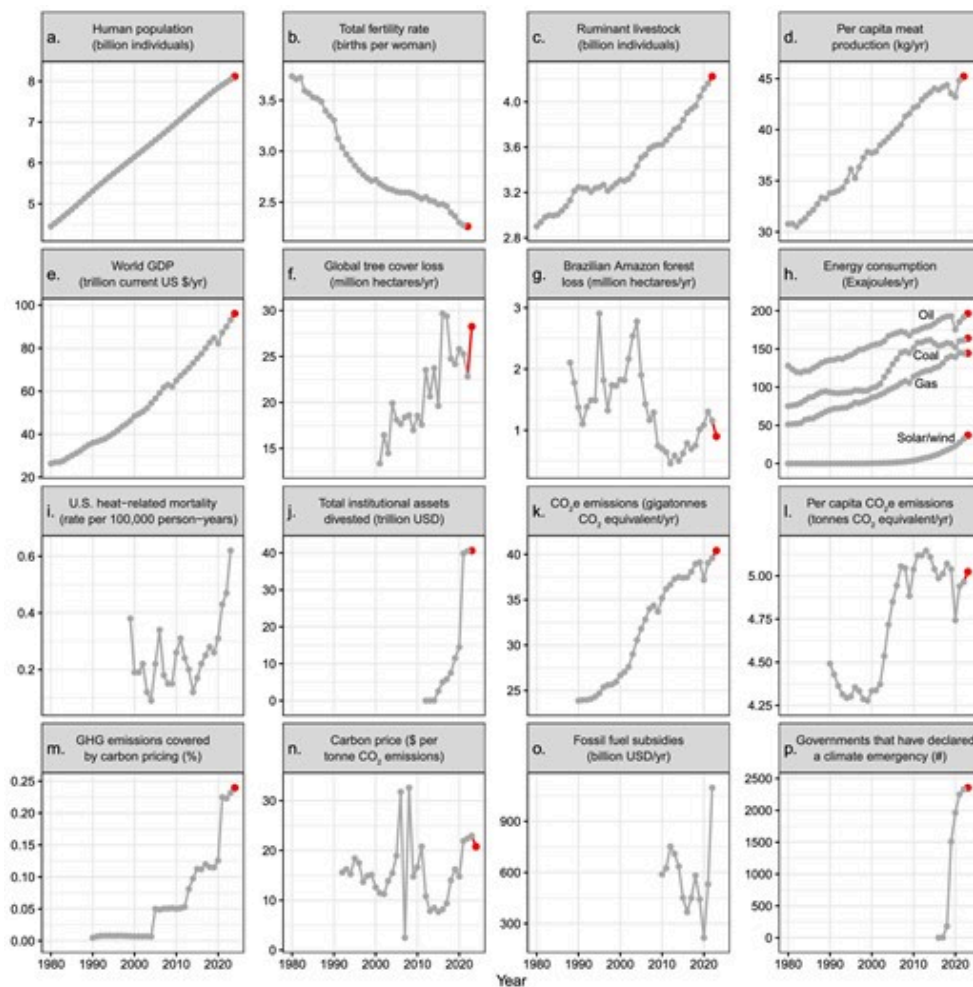


Abbildung 2. Zeitreihen klimabedingter menschlicher Aktivitäten. Die Daten, die seit der Veröffentlichung von Ripple und Kollegen (2023a) gewonnen wurden, sind in Rot (dunkelgrau in Schwarz-Weiß) dargestellt. In Feld (f) berücksichtigt der Verlust der Baumbedeckung nicht den Waldzuwachs, sondern schließt Verluste ein, die auf irgendeine Ursache zurückzuführen sind. Für Panel (h) werden Wasserkraft und Kernenergie in ergänzenden [Abbildung S3](#). Quellen und zusätzliche Details zu den einzelnen Variablen finden Sie in der ergänzenden Datei S1.

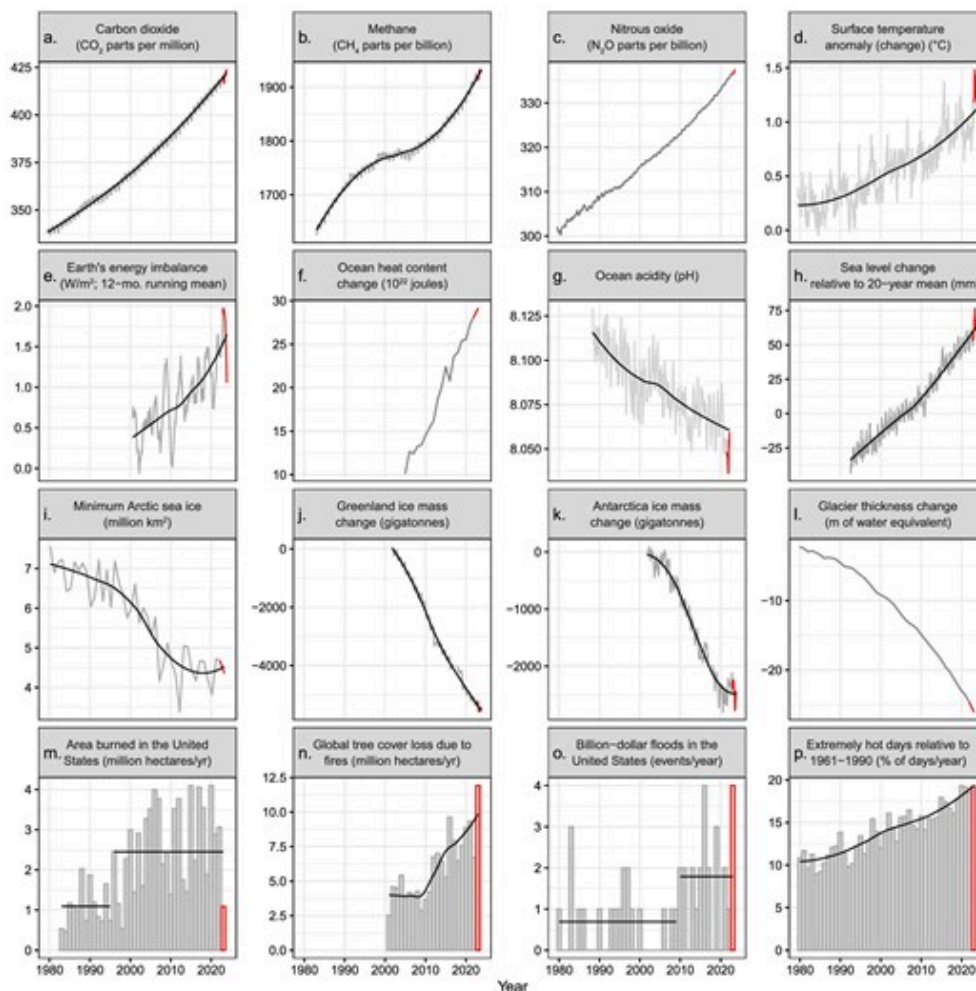


Abbildung 3. Zeitreihen klimabezogener Reaktionen. Die Daten, die vor und nach der Veröffentlichung von Ripple und Kollegen (2023a) gewonnen wurden, sind in Grau bzw. Rot (dunkelgrau in Schwarz und Weiß) dargestellt. Für die verbrannte Fläche (m) und die Milliarden-Dollar-Überschwemmungshäufigkeit (o) in den Vereinigten Staaten zeigen die schwarzen horizontalen Linien Schätzungen von Changepoint-Modellen, die abrupte Verschiebungen zulassen (siehe Beilage). Bei anderen Variablen mit relativ hoher Variabilität sind die lokalen Regressionstrendlinien schwarz dargestellt. Die Variablen wurden in verschiedenen Häufigkeiten (z.B. jährlich, monatlich, wöchentlich) gemessen. Die Beschriftungen auf der X-Achse entsprechen den Mittelpunkten von Jahren. Die Häufigkeit von Überschwemmungen in Milliardenhöhe (o) wird neben dem Klimawandel auch durch Exposition und Vulnerabilität beeinflusst. Quellen und zusätzliche Details zu den einzelnen Variablen finden Sie in der ergänzenden Datei S1.

Table 1.

Recent climate disasters in November 2023 or later.

Timeframe	Climate disaster
-----------	------------------

November 2023	Storm Bettina over Black Sea brought heavy snowfall and rainfall to several countries along the Black Sea, affecting more than 2.5 million people and causing 23 fatalities. The burning of fossil fuels was responsible for an approximately twofold increase in the likelihood of this level of precipitation (Zachariah et al. 2024a).
February 2024	Wildfires in Chile killed at least 131 people and destroyed more than 14,000 homes. Climate change may have contributed to these fires by increasing the frequency and intensity of droughts and heatwaves, although other factors may have been involved, including El Niño and the loss of natural forests.
March–April 2024	Extreme heat affected a large portion of North Africa and the Sahel, potentially killing hundreds or thousands of people. Heat waves of this magnitude likely could not have occurred in the absence of climate change (Barnes et al. 2024a).
April 2024	Heavy rain led to flash floods in the Persian Gulf region, killing at least 33 people. Climate change probably exacerbated this rainfall.
March–May 2024	Heavy rainfall in East Africa caused severe flooding that killed hundreds and affected more than 700,000 people. This region has seen an increase in observed rainfall over the past 15 years that is at least partly attributable to climate change (Kimutai et al. 2024).
April–May 2024	Many regions of Asia experienced devastating heatwaves, with approximately 1,500 heat stroke fatalities in Myanmar alone (Pearce and Ware 2024). As part of the longest heat wave ever recorded in India, temperatures reached 50°C in some areas and heat-related illnesses resulted in at least 60 deaths. Climate change is making such heat waves more frequent and extreme in some parts of Asia (Zachariah et al. 2024b).
April–May 2024	Extensive flooding in southern Brazil devastated 478 cities, killed 173 people, and left 38 people missing, 806 injured, and 423,486 displaced. The estimated cost of the cleanup is US\$3.7 billion (Malabarba et al. 2024). It was estimated that climate change roughly doubled the likelihood of the extreme rainfall that caused these floods (Clarke et al. 2024).
May 2024	A wind storm in Texas, United States killed 5 people and left more than 600,000 people without power. Climate change may be making straight-line wind storms such as this one more frequent and intense.

May 2024	Severe Cyclonic Storm Remal killed at least 84 people in India and Bangladesh. Climate change has led to an increase in the frequency and intensity of such severe storms.
May–June 2024	Mexico and nearby areas faced extreme heat; at least 125 people have died in Mexico because of heat-related illnesses this year. Climate change is increasing the frequency of such extreme heat waves (Pinto et al. 2024).
June 2024	At least 1,170 pilgrims died in Saudi Arabia during an intense heat wave with temperatures reaching over 50 C. Climate change is contributing to heat waves such as this one.
June 2024	Heavy rainfall in Bangladesh caused landslides that killed at least nine people and floods that left nearly 2 million people stranded. Climate change has increased the intensity of floods in this region.
June 2024	Devastating wildfires burned roughly 440,000 hectares in the Brazilian Pantanal wetlands, threatening economic activities and killing many wild animals. Climate change is estimated to have caused a 40% increase in the intensity of the weather conditions that drove these wildfires (Barnes et al. 2024b).
July 2024	Hurricane Beryl was an exceptionally strong Atlantic hurricane that affected parts of the Caribbean, United States, and Yucatán Peninsula; it killed 64 people and caused more than US\$5 billion in damages. Climate change may have contributed to Beryl rapidly intensifying and reaching Category 5 status despite occurring relatively early in the hurricane season.
July 2024	A deadly heatwave in the Mediterranean resulted in at least 23 fatalities. It is highly likely that climate change contributed to the extreme temperatures that were observed.
August 2024	Hurricane Debby was a slow-moving hurricane that caused extensive flooding in the Southeastern United States and killed at least 10 people. Climate change has been linked to increasing hurricane rainfall and intensification rates and may be involved in the slowing of U.S. hurricanes.

Note: We list numerous recent disasters that may be at least partly related to climate change. This list is not intended to be exhaustive. Because of the recent nature of these events, our sources often include news media articles. For each event, we generally provide references indicating that the likelihood or strength of such an event may have increased because of anthropogenic climate change. References to scientific articles are given directly in the table, and links to news articles are provided in supplemental file S1. Some of these climate

disasters may be at least partly related to changes in jet streams (Stendel et al. 2021, Rousi et al. 2022).

The human enterprise

Our graphical account illustrates how humanity's collective size and consumption patterns continued to accelerate on multiple fronts. Although fertility rates were down slightly to a record low in 2023, other variables set all-time record highs, including human population, ruminant livestock population, per capita meat production, and gross domestic product (GDP; figure 2a–2e). Human population and ruminant livestock population have been increasing at approximately 200,000 and 170,000 per day respectively. Decoupling the growth in all of these variables with greenhouse gas emissions may be difficult (Ripple et al. 2024).

Energy

Der Verbrauch fossiler Brennstoffe stieg 2023 im Vergleich zu 2022 um 1,5 % (Abbildung 2h), was vor allem auf einen deutlichen Anstieg des Kohleverbrauchs (1,6 %) und des Ölverbrauchs (2,5 %; Abbildung 2h) zurückzuführen ist. Auch die Nutzung erneuerbarer Energien stieg im Jahr 2023 an, wobei der Verbrauch von Solar- und Windenergie im Vergleich zu 2022 um 15 % stieg (Abbildung 2h). Ein Großteil dieses Wachstums ist darauf zurückzuführen, dass erneuerbare Energien oft billiger sind als vergleichbare neue fossile Brennstoffe (Roser 2020). Der Verbrauch fossiler Brennstoffe ist jedoch nach wie vor etwa 14-mal höher als der Verbrauch von Solar- und Windenergie (Abbildung 2h), und der jüngste Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung deckte größtenteils die gestiegene Nachfrage, anstatt fossile Brennstoffe zu ersetzen (REN21 2024).

Wälder

Der weltweite Verlust an Baumbeständen stieg von 22,8 Megahektaren (Mha) pro Jahr im Jahr 2022 auf 28,3 Mha pro Jahr im Jahr 2023 und erreichte damit den dritthöchsten Stand (Abbildung 2f); Dies war zumindest teilweise auf Waldbrände zurückzuführen, die dazu führten, dass der Verlust der

Baumbestände ein Rekordhoch von 11,9 Mha erreichte (Abbildung 3n). Hohe Verlusten der Baumbedeckung können eine Reihe von damit verbundenen Rückkopplungsschleifen auslösen, wobei der Verlust der Kohlenstoffbindung in Wäldern 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 des Klima-Rückkopplungsprozesses könnte den Erfolg einiger natürlicher Klimälösungen einschränken. Im Jahr 2023 kam es laut Ke und Kollegen (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12447> [Preprint: nicht peer reviewed]) auch zu einem dramatischen Rückgang der Kohlenstoffsenske auf dem Land. Positiv zu vermerken ist, dass die Entwaldungsrate im brasilianischen Amazonasgebiet weiter zurückging und von 1,16 Mio. ha im Jahr 2022 auf 0,90 Mio. ha im Jahr 2023 sank (Abbildung 2g). Dieser Rückgang könnte zum Teil auf die veränderte Politik der brasilianischen Regierung zurückzuführen sein (Vilani et al. 2023) und kommt zu einem kritischen Zeitpunkt, da sich der Amazonas möglicherweise einem Wendepunkt nähert, an dem ein Verlust der Widerstandsfähigkeit und positive Rückkopplungsschleifen zu einem großflächigen Waldsterben beitragen (Boulton et al. 2022, Flores et al. 2024).

Globale Treibhausgase und Temperatur

Die jährlichen energiebedingten Emissionen stiegen im Jahr 2023 um 2,1 % und liegen nun erstmals über 40 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalent (Abbildung 2k). Die drei größten Emittenten sind China, die Vereinigten Staaten und Indien, die zusammen für mehr als die Hälfte der weltweiten Emissionen verantwortlich sind (ergänzende Tabelle S2). Die anthropogenen Emissionen von Aerosolschadstoffen sind rückläufig; Da diese Aerosole einen Netto-Kühleffekt haben, könnte diese Verringerung dazu führen, dass sich die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung beschleunigt (Hansen et al. 2023). Auf der Grundlage der weltweiten Durchschnittswerte seit Jahresbeginn befinden sich die Konzentrationen von Kohlendioxid und Methan auf Rekordhöhen (Abbildung 3a, 3b). In jüngster Zeit wurde ein Anstieg des Kohlendioxidgehalts beobachtet (NOAA 2024). Darüber hinaus hat sich die Wachstumsrate der Methanemissionen beschleunigt, was sehr besorgniserregend ist (Shindell et al. 2024). Auch Distickstoffmonoxid befindet sich auf

einem Rekordhoch (Abbildung 3c); Die jährlichen anthropogenen Emissionen dieses starken, langlebigen Treibhausgases sind von 1980 bis 2020 um rund 40 % gestiegen (Tian et al. 2024).

Die Oberflächentemperatur ist auf einem Rekordhoch, und es wird erwartet, dass 2024 eines der heißesten Jahre aller Zeiten sein wird (Abbildung 3d). Jede 0,1 °C globaler Erwärmung führt dazu, dass zusätzliche 100 Millionen Menschen (oder mehr) beispiellos heißen Durchschnittstemperaturen ausgesetzt sind (Lenton et al. 2023). Auf unserer derzeitigen Entwicklung werden die kommenden Jahre mit ziemlicher Sicherheit noch heißer sein, da sich unser Klima weiter von den Bedingungen entfernt, die mit dem Gedeihen des Menschen für einen Großteil der Erdbevölkerung verbunden sind (Vecellio et al. 2023). Selbst in den optimistischsten Szenarien werden groß angelegte Anstrengungen zur Anpassung an den Klimawandel erforderlich sein, insbesondere für die am stärksten gefährdeten Bevölkerungsgruppen (Ripple et al. 2022).

Ozeane und Eis

Sowohl der Säuregehalt der Ozeane als auch der Wärmegehalt der Ozeane befinden sich auf einem Rekordniveau (Abbildung 3f, 3g), was zu verschiedenen ozeanbedingten Klimaauswirkungen geführt hat. So verursachten beispielsweise Hitzewellen in den Jahren 2021 und 2023 ein Massensterben von Meerestieren (White et al. 2023, Goreau und Hayes 2024). Darüber hinaus befindet sich der durchschnittliche globale Meeresspiegel derzeit auf einem Rekordhoch, was vor allem auf die allgemeine Erwärmung und einen starken El Niño im Jahr 2023 und teilweise im Jahr 2024 zurückzuführen ist (Abbildung 3h; Lee 2024). Der anhaltende Anstieg des Meeresspiegels hat das Potenzial, im Laufe des Jahrhunderts Hunderte von Millionen Menschen zu vertreiben (Kulp und Strauss 2019). Das Schmelzen des kontinentalen Eises trägt etwa die Hälfte zum Anstieg des Meeresspiegels bei (Horwath et al. 2021), und die neuesten Daten deuten darauf hin, dass die Eismasse Grönlands, die Eismasse der Antarktis und die durchschnittliche Gletscherdicke alle auf einem Rekordtief liegen (Abbildung 3j–3l).

Klimafolgen und Extremwetter

Klimabedingte Extremwetterereignisse und Katastrophen tragen stark zum Leid der Menschen bei (Abbildung 4). Zunehmende Hitze- und Niederschlagsextreme liegen mittlerweile weit außerhalb des historischen Klimas (Robinson et al. 2021). Der rasante Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen (Abbildung 1e) hat zu einem massiven Anstieg des Auftretens von Hitzeextremen geführt (Abbildung 3p). Dies ist mit vielen nachteiligen Folgen für den Menschen verbunden, darunter direkte Sterblichkeit, erhöhte Gesundheitskosten, psychische Gesundheitsprobleme und Todesfälle durch kardiorespiratorische Erkrankungen (Ebi et al. 2021). Der Klimawandel hat bereits dazu beigetragen, dass Milliarden von Menschen 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). Im vergangenen Jahr gab es in den Vereinigten Staaten vier Überschwemmungen im Wert von vier Milliarden Dollar (ein Gleichstand für den Rekord; Zahlen 3o und S4). Seit der Veröffentlichung unseres letzten Berichts (Ripple et al. 2023a) haben sich zahlreiche weitere große klimabedingte Katastrophen ereignet, darunter eine Reihe von Hitzewellen in ganz Asien, die mehr als tausend Menschen töteten und in einigen Teilen Indiens zu Temperaturen von bis zu 50 °C führten (Tabelle 1). Da das Erdsystem stark nichtlinear ist, können extreme Wetter- und Katastrophenraten als Reaktion auf die globale Erwärmung dramatisch ansteigen, einschließlich der Auswirkungen auf die Pflanzen- und Tierwelt (Abbildung 3m, 3o und ergänzende Abbildungen 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 (v.l.n.r.): Rettung von Menschen, die durch Überschwemmungen in der Stadt Canoas, Rio Grande do Sul (Brasilien, 2024; Duda Fortes, Agência RBS), "Dürre in Äthiopien aufgrund von Regenfällen nicht realisiert" (Äthiopien, 2011; Oxfam Ostafrika; CC BY 2.0). Zweite Reihe: Feuerwehrleute dämmen ein Buschfeuer ein, das rund um die Stadt Aberdare brennt (Australien, 2013; Quarrie Photography, Jeff Walsh, Cass Hodge; CC BY-NC-ND 2.0), Die Folgen des Hurrikans Matthew (Haiti, 2016; UN Photo/Logan Abassi; CC BY-NC-ND 2.0). Dritte Reihe: Inspektion einer sturmgeschädigten Fahrbahn in Kalifornien (USA, 2023; Andrew Avitt/USDA Forest Service), Überreste eines Hauses auf der Insel Leyte, das vom Taifun Haiyan zerstört wurde (Philippinen, 2013; Trocaire/Wikimedia; CC BY 2.0). Alle Zitate stammen aus dem Climate Visuals Projekt (<https://climatevisuals.org>). Details und weitere Bilder finden Sie in der Zusatzdatei S1.

Klima im Rampenlicht

In diesem Abschnitt beleuchten wir die jüngsten Entwicklungen in verschiedenen klimabezogenen Bereichen: Korallenbleiche, giftige orangefarbene Flüsse, Forschung zur Modifikation der Sonneneinstrahlung (SRM), die Meinung von Klimawissenschaftlern zu den globalen Temperaturen, Klimawandel als Frage der sozialen Gerechtigkeit, Klimarückkopplungsschleifen und Kippunkte sowie das Risiko eines gesellschaftlichen Zusammenbruchs.

Korallenbleiche

Korallenriffe kommen Millionen von Menschen zugute, indem sie eine breite Palette von Ökosystemdienstleistungen erbringen, darunter Küstenschutz, verbesserte Wasserqualität, Fischerei und Tourismusmöglichkeiten; sie bieten auch Lebensraum für viele Arten (Woodhead et al. 2019). Der Klimawandel stellt eine besonders große Bedrohung für Korallenriffe dar (Hoegh-Guldberg et al. 2017). Dem Absterben von Warmwasserkorallen geht manchmal die Bleiche voraus – der Verlust einer symbiotischen Beziehung mit Mikroalgen (Abbildung 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 ab, ohne Zeit zum Bleichen zu haben. Andere bleichen und sterben entweder langsamer über einen Zeitraum von einigen Monaten ab oder gewinnen ihre Farbe zurück und überleben (Hughes et al. 2018). Ab 2024 sind außergewöhnlich warme Meerestemperaturen (Abbildung 1a) die Ursache für die vierte jemals aufgezeichnete Korallenbleiche auf globaler Ebene (frühere Ereignisse: 1998, 2010, 2014–2017; Thiem 2024).

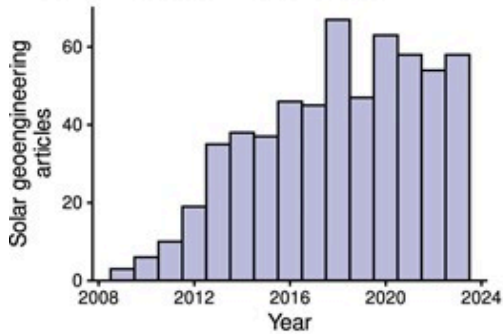
a. Coral bleaching



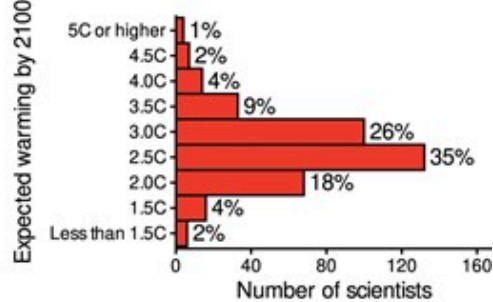
b. Toxic orange rivers



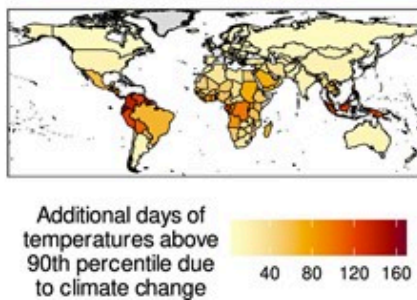
c. Solar Radiation Modification



d. Climate scientists' opinion on global temperatures



e. Climate change as a social justice issue



f. Risk of societal collapse

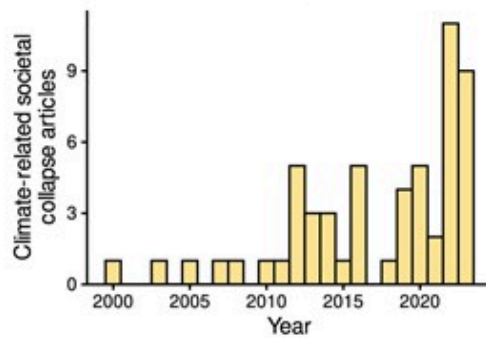


Abbildung 5. Themen des Klimawandels. Es gibt bereits viele schwerwiegende Auswirkungen auf das Klima, darunter die Korallenbleiche (a) und das Auftauen des Permafrosts, die dazu beitragen, dass die orangefarbenen Flüsse den Fischreichtum und die Trinkwasserqualität verringern (b). In den letzten Jahren ist die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Zusammenhang mit der Modifikation der Sonneneinstrahlung (c) dramatisch gestiegen. Eine Umfrage unter Hunderten von IPCC-Autoren und Herausgebern zeigt, dass die Mehrheit eine katastrophale Erwärmung von mindestens 2,5 Grad Celsius in diesem Jahrhundert erwartet (d). Es wird erwartet, dass Menschen in weniger wohlhabenden Ländern mit geringeren Emissionen (e) unverhältnismäßig stark von extremer Hitze betroffen sein werden. Der Klimawandel könnte schließlich zum gesellschaftlichen Zusammenbruch beitragen – eine Möglichkeit, die von Forschern zunehmend in Betracht gezogen wird. Siehe ergänzende Datei S1 für Datenquellen und Details. Fotos: (a) Acropora/Wikimedia Commons, (b) Ken Hill/National Park Service.

Giftige orangefarbene Flüsse

Der Klimawandel in der Arktis verändert die Hydrologie der Wassereinzugsgebiete und die Biogeochemie des Wassers. Kürzlich haben Forscher eine aufkommende Bedrohung in arktischen Flüssen beobachtet, die sich aufgrund von erhöhtem Eisen und giftigen Metallen orange färbten (Abbildung 5b). Diese Verfärbung begann im letzten Jahrzehnt, zeitgleich mit der raschen globalen Erwärmung und dem Auftauen des Permafrosts (O'Donnell et al. 2024). Im Vergleich zu klaren Bächen sind orangefarbene Bäche saurer, haben eine höhere Trübungen und einen erhöhten Gehalt an Sulfat, Eisen und Spurenmetallen. Diese Verfärbung korreliert mit einem Rückgang der Makroinvertebratenvielfalt und des Fischreichtums, was sich auf die Trinkwasser- und Subsistenzfischerei im ländlichen Alaska auswirkt (O'Donnell et al. 2024).

Forschung zur Modifikation der Sonneneinstrahlung

Die SRM-Forschung, auch bekannt als *solare Geoengineering-Forschung*, hat in den letzten Jahren dramatisch zugenommen (Abbildung 5c). Es handelt sich um potenziell riskante Techniken, um Sonnenlicht von der Erde weg zu reflektieren, um die Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen. Zu den allgemeinen Kategorien von SRM gehören atmosphärische, terrestrische und weltraumgestützte Anwendungen (Keith 2020). Zu den konkreten Methoden gehören zum Beispiel das Injizieren von Aerosolen in die Stratosphäre oder das Aufhellen von Meereswolken. Der Weltklimarat (IPCC) ist zu dem Schluss gekommen, dass die stratosphärische Aerosolinjektion die am besten erforschte SRM-Methode ist, aber es gibt eine Reihe von Umweltbedenken (IPCC 2018, Vioni et al. 2020). SRMs sind auch wegen möglicher unbeabsichtigter Folgen und ethischer Bedenken umstritten. Kritiker argumentieren, dass es fehlgeleitet ist und Wettermuster stören und Bemühungen zur Emissionsreduzierung behindern könnte (Whyte 2018). Die Forschung geht jedoch weiter, um die Machbarkeit und die Risiken zu untersuchen. SRM wird oft als vorübergehende, potenziell wichtige Lösung angesehen, um sowohl die Erwärmung als auch die entsprechenden Schäden zu reduzieren, auch für die äußerst wichtigen und sich schnell

erwärmenden subpolaren Regionen (Smith et al. 2022). Die Forschung im Bereich des solaren Geoengineerings muss sich auf das Verständnis der potenziellen ökologischen, sozialen und geopolitischen Auswirkungen sowie auf die Bewertung der Wirksamkeit und Sicherheit sowohl auf regionaler als auch auf globaler Ebene konzentrieren (Sovacool et al. 2022). Darüber hinaus ist interdisziplinäre Forschung erforderlich, um ethische, rechtliche und Governance-Rahmenbedingungen sowie die öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz zu untersuchen und gleichzeitig die entscheidende Bedeutung einer drastischen Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu betonen. Es gibt eine Konsensusstudie, die als Roadmap für die Forschung und Forschungsgovernance im Bereich Solar-Geoengineering zur Verfügung steht (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2021).

Die Meinung von Klimawissenschaftlern zu den globalen Temperaturen

Eine Meinungsumfrage aus dem Jahr 2024 hat die Vorhersagen von Hunderten prominenter Klimawissenschaftler des IPCC, leitenden Autoren und Herausgebern von Übersichtsarbeiten (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 werden (Carrington 2024). Fast die Hälfte von ihnen rechnet mit einem Anstieg von mindestens 3°C. Lediglich 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 Prognosen zeichnen ein düsteres Bild der Zukunft, wobei sich viele Wissenschaftler weit verbreitete Hungersnöte, Konflikte, Massenmigration und zunehmende Extremwetterereignisse vorstellen, die alles bisher Gesehene übertreffen und katastrophale Folgen sowohl für die Menschheit als auch für die Biosphäre haben werden (Carrington 2024). Es ist jedoch wichtig, im Hinterkopf zu behalten, dass solche Charakterisierungen unter der Verschmelzung von wissenschaftlichen Fragen (d.h. wie viel Erwärmung wir für einen

bestimmten Emissionspfad verpflichten) und Fragen der Politik (welche Pfade sind noch möglich und was sind die Hindernisse) leiden können. Es gibt zum Beispiel keine Möglichkeit zu wissen, ob die befragten IPCC-Physiker ihre Einschätzungen auf die Wissenschaft oder einfach auf ihre Ansichten über die politischen Handlungsaussichten gestützt haben (Mann und Hayhoe 2024).

Eine der zahlreichen Herausforderungen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist die Kommunikation über den Klimawandel (Günther 2024). Einige haben argumentiert, dass eine Haltung des Pessimismus und der Resignation den Klimaschutz behindern kann. Darüber hinaus sagen einige, dass diejenigen, die sich dem Handeln widersetzen, auf alternative Strategien zurückgegriffen haben, einschließlich der Verbreitung von Pessimismus, weil das Annehmen eines Gefühls der Hilflosigkeit die Motivation zum Handeln untergraben kann (Mann und Hayhoe 2024). Umgekehrt wurde auch vorgeschlagen, dass Optimismus zu Untätigkeit führt, wenn die Menschen denken, dass die Dinge in Ordnung sind und daher kein Handeln erforderlich ist (Wilson 2021). In jedem Fall kann die Bedeutung des Tons in diesem Zusammenhang überschätzt werden, und es bedarf weiterer Forschung, um die Motivationsfaktoren für Klimaschutzmaßnahmen besser identifizieren zu können (Bamberg et al. 2018).

Angesichts der immer unbestreitbarer werdenden Auswirkungen des Klimawandels ist eine düstere Bewertung eine ehrliche Bewertung. Die existenzielle Bedrohung durch den Klimawandel zu leugnen, wird immer weniger plausibel. Tatsache ist, dass es von entscheidender Bedeutung ist, jedes Zehntel Grad Erwärmung zu vermeiden. Anstatt eine Klimaprognose pessimistisch oder optimistisch zu präsentieren, wollen wir einfach wahrheitsgemäß handeln und die Dinge beim Namen nennen. Wir müssen sowohl die Dringlichkeit als auch die Handlungsfähigkeit betonen, wenn es darum geht, die erforderlichen Maßnahmen zum Klimaschutz zu charakterisieren (Mann 2023).

Der Klimawandel als Frage der sozialen Gerechtigkeit

Der Klimawandel ist eine Frage von Vielfalt, Gleichberechtigung und Inklusion (DEI), denn die wohlhabenden Menschen, die die

meisten Treibhausgase ausstoßen, sind in der Regel weniger anfällig für Klimaauswirkungen (Abbildung 5e). Obwohl die Auswirkungen der Emissionen global sind, sind sie im globalen Süden besonders gravierend (Ngcamu 2023). Die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel wird durch ein komplexes Zusammenspiel sozialer, wirtschaftlicher und politischer Faktoren geprägt, so dass historisch vielfältige, unterversorgte und marginalisierte Gemeinschaften unverhältnismäßig stark betroffen sind (Levy und Patz 2015). Die DEI-Prinzipien unterstreichen die Dringlichkeit, diese Ungleichheiten anzugehen. Die Einbettung des Klimawandels in den Rahmen organisatorischer DEI-Aktivitäten kann dazu beitragen, umfassende und sinnvolle Fortschritte in Richtung Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit zu fördern. Indem sie die unverhältnismäßigen Auswirkungen des Klimawandels auf marginalisierte Gemeinschaften anerkennen, können Organisationen darauf hinarbeiten, historische Ungerechtigkeiten zu korrigieren, indem sie Länder im globalen Süden finanzieren, um die Dekarbonisierung aufrechtzuerhalten und gleichzeitig dringende Probleme des Klimawandels anzugehen. Darüber hinaus sind DEI-Überlegungen für die internationale Klimapolitik relevant; zum Beispiel können sie dazu beitragen, die Bemühungen um einen schnellen und gerechten Ausstieg aus der Förderung fossiler Brennstoffe zu lenken (Muttitt und Kartha 2020).

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

Klima-Rückkopplungsschleifen und Kippunkte

Das Bewusstsein und die Forschung zu Klima-Rückkopplungsschleifen müssen geschärft werden. Rückkopplungsschleifen sind Prozesse, die die Auswirkungen von Treibhausgasemissionen entweder verstärken oder verringern können. Viele signifikante Rückkopplungsschleifen verstärken die Erwärmung. Mindestens 28 verstärkende Rückkopplungsschleifen wurden identifiziert (Tabellen 2a, 2b). Eine besonders besorgniserregende Rückkopplungsschleife ist die Permafrost-

Rückkopplungsschleife, bei der steigende Temperaturen zum Auftauen des Permafrosts führen. Dieser Prozess setzt mehr Kohlendioxid und Methan frei, was zu einer weiteren Erwärmung führt. Zu den Bereichen der aktiven Klima-Rückkopplungsschleifen-Forschung gehören Permafrost-Wolken-Wechselwirkungen (de Vrese et al. 2024), Gletscherschmelzwasser (Pelle et al. 2023) und Biodiversität (Weiskopf et al. 2024). Da Rückkopplungsschleifen noch nicht vollständig in Klimamodelle integriert sind, könnten die derzeitigen Pläne zur Emissionsreduktion die zukünftige Erwärmung nicht ausreichend begrenzen.

Tabelle 2a.

Zusammenfassung der Verstärkung physischer Rückkopplungsschleifen.

Feedback	Auswirkungen des Klimawandels	Auswirkungen auf den Klimawandel
Wasserdampf [†]	↑ Erhöhung des Wasserdampfgehalts	↑ Treibhauseffekt
Meereis-Albedo ^{*†}	↑ Meereis schmilzt oder bildet sich nicht	↓ Albedo
Eisschilde ^{*†‡}	↑ Schmelzen von Gletschern und Eisschilden/Instabilität	↓ Albedo
Anstieg des Meeresspiegels [‡]	↑ Meeresspiegel	↓ Albedo (↑ Untertauchen der Küste)
Schneedecke [†]	↓ Schneedecke	↓ Albedo
Wolken [†]	Δ Wolkenverteilung und optische Eigenschaften	Δ Wolkenalbedo und Treibhauseffekt
Schichtung der Ozeane	↑ Schichtung der Ozeane	↓ Kohlenstoffaufnahme durch den Ozean
Löslichkeitspumpe [†]	↑ Atmos. CO ₂ -Werte	↓ Aufnahme von CO ₂ durch den Ozean
CH ₄ hydratisiert ^{*‡}	↑ CH ₄ Hydrat-Dissoziationsraten	↑ Abgabe von CH ₄ an die Atmosphäre.

Eis-Höhe [‡]	↓ Höhe des Eisschildes oder Gletschers	↑ Schmelzen von Gletschern und Eisschilden, ↓ Albedo
Niederschläge in der Antarktis [‡]	↓ Ausdehnung des Eisschildes, ↑ Niederschlag	↓ Albedo, ↑ Erwärmung der tiefen Ozeane

Anmerkung: Feedbackschleifen, die Kippelemente beinhalten können, sind mit Sternchen (*) gekennzeichnet. Als ungefährer Indikator für Rückkopplungsschleifen, die am ehesten teilweise in bestimmten Klimamodellen enthalten sind, werden Rückkopplungsschleifen, auf die in Abbildung TS.17 (Übersicht der Rückkopplungsschleifen) oder Abbildung 5.29 (biogeochemische Rückkopplungsschleifen) des IPCC (2021) verwiesen wird, mit Dolchen (†) gekennzeichnet. Viele dieser Rückkopplungsschleifen werden wahrscheinlich große Auswirkungen auf das Klima der Erde haben, aber andere könnten spekulativer sein. Feedback-Auswirkungen funktionieren auf einer Reihe von Zeitskalen; Feedbackschleifen, von denen wir glauben, dass sie besonders langsam sind, werden mit Doppeldolchen (‡) gekennzeichnet. Symbole zeigen abnehmende (↓), zunehmende (↑) und veränderliche (Δ) an. Abkürzungen: atmosphärisch, atmos.; CH₄, Methan; CO₂, Kohlendioxid. Siehe Ripple und Kollegen (2023b) für vollständige Schleifenbeschreibungen, Gruppierungsinformationen, Einschränkungen und ausgewählte Referenzen. Die Tabelle und die Bildunterschrift wurden von Ripple und Kollegen (2023b) übernommen.

Tabelle 2b.

Zusammenfassung der Verstärkung biologischer Rückkopplungsschleifen.

Feedback	Auswirkungen des Klimawandels	Auswirkungen auf den Klimawandel
Moore [†]	↑ Trocknung und Feuer, ↓ Bodenkohlenstoff	↑ Freisetzung von CO ₂ in die Atmosphäre.
Feuchtgebiete [†]	↑ Feuchtgebiete (↑ Niederschlag)	↑ CO ₂ ff., ↑ CH ₄ Emissionen
Süßwasser	↑ Wachstumsraten von Wasserpflanzen	↑ CH ₄ Emissionen
Waldsterben*	↑ Amazonas und anderes Waldsterben	↓ CO ₂ ff., Δ Albedo

Begrünung des Nordens	↑ Boreales Waldgebiet, arktische Vegetation	↑ CO ₂ ff., ↓ Albedo
Insekten	Δ Verbreitungsgebiete und Abundanzen von Insekten	↓ CO ₂ ff., Δ Albedo
Lauffeuer [†]	↑ Brandaktivität in einigen Regionen	↑ CO ₂ -Emissionen, Δ Albedo
Bodenkohlenstoff (sonstige)	↑ Verlust von Bodenkohlenstoff	↑ CO ₂ -Emissionen
Distickstoffmonoxid im Boden [†]	Δ Mikrobielle Aktivität des Bodens	↑ Lachgas-Emissionen
Permafrost-Emissionen ^{*†}	↑ Permafrost taut auf	↑ CO ₂ - und CH ₄ - Emissionen
Permafrost-Wolke	↑ Auftauen des Permafrosts, Austrocknen der Landschaft	↓ Sommerliche Bewölkung, ↓ Albedo
Boden und Pflanze ET	↑ ET aus Böden und Pflanzen	↓ Latenter Wärmefluss
Mikroben (andere)	↑ Mikrobielle Atmungsraten	↑ CO ₂ - und CH ₄ - Emissionen
Stress der Pflanzen	↑ Thermischer Stress, ↑ Dürren	↑ Pflanzensterben, ↓ CO ₂ ff.
Desertifikation	↑ Wüstengebiet	↓ CO ₂ ff., Δ Albedo
Produktivität an der Küste	↑ Verschlechterung der Küstenökosysteme	↓ Kohlenstoff seq. des Küstenökosystems
Stoffwechselraten	↑ Phytoplankton-Atmungsraten	↑ CO ₂ wird an die Atmosphäre abgegeben.

Anmerkung: Feedbackschleifen, die Kippelemente beinhalten können, sind mit Sternchen (*) gekennzeichnet. Als ungefähre Indikator für Rückkopplungsschleifen, die am ehesten teilweise in bestimmten Klimamodellen enthalten sind, werden Rückkopplungsschleifen, auf die in Abbildung TS.17 (Übersicht der Rückkopplungsschleifen) oder Abbildung 5.29 (biogeochemische Rückkopplungsschleifen) des IPCC (2021) verwiesen wird, mit Dolchen (†) gekennzeichnet. Viele dieser Rückkopplungsschleifen werden wahrscheinlich große Auswirkungen auf das Klima der Erde haben, aber andere

könnten spekulativer sein. Feedback-Auswirkungen funktionieren auf einer Reihe von Zeitskalen. Symbole zeigen abnehmende (\downarrow), zunehmende (\uparrow) und veränderliche (Δ) an. Abkürzungen: atmosphärisch, atmos.; CH₄, Methan; CO₂, Kohlendioxid; Evapotranspiration, ET; Sequestrierung, ff. Siehe Ripple und Kollegen (2023b) für vollständige Schleifenbeschreibungen, Gruppierungsinformationen, Einschränkungen und ausgewählte Referenzen. Die Tabelle und die Bildunterschrift wurden von Ripple und Kollegen (2023b) übernommen und um die Permafrost-Wolken-Rückkopplung ergänzt (de Vrese et al. 2024).

Einige Klima-Rückkopplungsschleifen sind mit Kipppunkten verbunden, die möglicherweise große und irreversible Veränderungen im Erdsystem auslösen, wenn der Mensch sie nicht weiter vorantreibt. Kippelemente sind biophysikalische Systeme auf der Erde mit Kippunktverhalten, die zur Regulierung des Klimasystems beitragen (Lenton et al. 2008). Sie wurden kürzlich auf ihre Kippempfindlichkeit untersucht. Fünf von sechzehn Klimakippelementen werden wahrscheinlich ihren Kippunkt bei 1,5°C überschreiten: der grönländische Eisschild, der westantarktische Eisschild, der boreale Permafrost, Korallenriffe in niedrigen Breiten und das Barentsseeeis (Armstrong McKay et al. 2022). Mehrere Klimakippelemente sind miteinander verbunden, und wenn eines kippt, können andere kippen, was eine Kippunktkaskade auslöst (Wunderling et al. 2024). Insgesamt deutet dies auf eine komplexe Situation hin, in der klimasteuernde Rückkopplungsschleifen und Kippunktsysteme in einer Weise miteinander verbunden sind, die selbsterhaltende Prozesse auslösen könnte, die die Erwärmung außerhalb der menschlichen Kontrolle verstärken. Daher empfehlen wir dem IPCC, einen Sonderbericht über Rückkopplungsschleifen und Kippunkte zu veröffentlichen.

Gefahr des gesellschaftlichen Zusammenbruchs

Der Klimanotstand ist kein isoliertes Thema. Die globale Erwärmung ist zwar katastrophal, aber nur ein Aspekt einer tiefgreifenden Polykrise, die Umweltzerstörung, zunehmende wirtschaftliche Ungleichheit und den Verlust der biologischen Vielfalt umfasst (Hoyer et al. 2023). Der Klimawandel ist ein eklatantes Symptom für ein tieferes systemisches Problem: das ökologische Overshoot, bei dem der menschliche Verbrauch die Regenerationsfähigkeit der Erde übersteigt (Rees 2023, Ripple et

al. 2024). Overshoot ist ein inhärent instabiler Zustand, der nicht unbegrenzt bestehen bleiben kann. Da der Druck zunimmt und das Risiko, dass das Klimasystem der Erde in einen katastrophalen Zustand übergeht, steigt (Steffen et al. 2018), haben immer mehr Wissenschaftler begonnen, die Möglichkeit eines gesellschaftlichen Zusammenbruchs zu erforschen (Brozović 2023). Selbst wenn es nicht zu einem globalen Kollaps kommt, könnte der Klimawandel bis 2050 viele Millionen zusätzliche Todesfälle verursachen (WHO 2023).

Zusammen mit der allgemeinen Gefahr des Overshoots könnte der Klimawandel zu einem Zusammenbruch beitragen, indem er die Wahrscheinlichkeit katastrophaler Risiken wie internationaler Konflikte erhöht oder multiple Belastungen verursacht, was zu systemweiten synchronen Ausfällen führt (Kemp et al. 2022). Die Zahl der veröffentlichten Artikel, die sich mit dem *Klimawandel* und dem *gesellschaftlichen Zusammenbruch* befassen, hat dramatisch zugenommen (Abbildung 5f; ergänzende Methoden). Der Klimawandel hat bereits Millionen von Menschen vertrieben und hat das Potenzial, Hunderte von Millionen oder sogar Milliarden weitere zu vertreiben, was zu größerer geopolitischer Instabilität führen wird (Tabelle S3). Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte etwa ein Drittel der Menschen weltweit außerhalb der menschlichen Klimanische leben und einem erhöhten Risiko für Krankheiten und frühen Tod, Hungersnöte und eine Vielzahl anderer nachteiliger Folgen ausgesetzt sein (Lenton et al. 2023).

Schlüsse

Trotz sechs IPCC-Berichten, 28 COP-Treffen, Hunderten von anderen Berichten und Zehntausenden von wissenschaftlichen Arbeiten hat die Welt nur sehr geringe Fortschritte beim Klimawandel gemacht, was zum Teil auf den starken Widerstand derjenigen zurückzuführen ist, die finanziell von dem derzeitigen auf fossilen Brennstoffen basierenden System profitieren. Wir bewegen uns derzeit in die falsche Richtung, und unser steigender Verbrauch fossiler Brennstoffe und steigende Treibhausgasemissionen treiben uns in eine Klimakatastrophe. Wir fürchten die Gefahr eines Klimakollapses. Die Beweise, die wir

beobachten, sind sowohl alarmierend als auch unbestreitbar, aber es ist genau dieser Schock, der uns zum Handeln antreibt. 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, in allen Bereichen der Gesellschaft nach transformativen, wissenschaftsbasierten Lösungen zu suchen ([Tisch S4](#)). Unser Ziel ist es, klare, evidenzbasierte Erkenntnisse zu liefern, die zu fundierten und mutigen Antworten von Bürgern, Forschern und Staats- und Regierungschefs inspirieren.

Ein rascher Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe sollte oberste Priorität haben. Dies könnte zum Teil durch einen ausreichend hohen globalen Kohlenstoffpreis erreicht werden, der die Emissionen der Reichen begrenzen und gleichzeitig möglicherweise Mittel für dringend benötigte Klimaschutz- und Anpassungsprogramme bereitstellen könnte. Darüber hinaus ist die Bepreisung und Reduzierung von Methanemissionen von entscheidender Bedeutung, um den Klimawandel wirksam einzudämmen. Methan ist ein starkes Treibhausgas, und im Gegensatz zu Kohlendioxid, das jahrhundertlang in der Atmosphäre verbleibt, hat Methan eine relativ kurze Lebensdauer in der Atmosphäre, so dass sich Reduktionen kurzfristig auswirken ([Shindell et al. 2024](#)). Eine drastische Reduzierung der Methanemissionen kann die kurzfristige Geschwindigkeit 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 einen mutigen, transformativen Wandel: drastische Reduzierung von Überkonsum und Verschwendung, insbesondere durch die Wohlhabenden, Stabilisierung und allmähliche Reduzierung der menschlichen Bevölkerung durch Stärkung von Bildung und Rechten für Mädchen und Frauen, Reform der Lebensmittelproduktionssysteme, um mehr pflanzliche Ernährung zu unterstützen, und Einführung eines ökologischen und postwachstumsorientierten wirtschaftlichen Rahmens, der soziale Gerechtigkeit gewährleistet ([Tabelle S4](#)). Der Unterricht zum Klimawandel sollte weltweit in die Kernlehrpläne der Sekundar- und Hochschulbildung integriert werden, um das

Bewusstsein zu schärfen, die Klimakompetenz zu verbessern und die Lernenden zum Handeln zu befähigen. Wir brauchen auch unmittelbarere Anstrengungen, um Ökosysteme zu schützen, wiederherzustellen oder zu renaturieren.

Der Anstieg der jährlichen Klimakatastrophen zeigt, dass wir uns in einer großen Krise befinden, die noch schlimmer bevorsteht, wenn wir so weitermachen wie bisher. Heute ist unser Handeln wichtiger denn je für das stabile Klimasystem, das uns seit Jahrtausenden trägt. Die Zukunft der Menschheit hängt von unserer Kreativität, unserer moralischen Faser und unserer Ausdauer ab. Wir müssen dringend die ökologische Überschreitung reduzieren und sofort groß angelegte Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an den Klimawandel ergreifen, um kurzfristige Schäden zu begrenzen. Nur durch entschlossenes Handeln können wir die Natur schützen, tiefgreifendes menschliches Leid abwenden und sicherstellen, dass zukünftige Generationen die lebenswerte Welt erben, die sie verdienen. Die Zukunft der Menschheit hängt in der Schwebe.

Bestätigungen

Wir widmen diesen Artikel dem Andenken 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 ihre hilfreichen Vorschläge. Die Hauptfinanzierung erfolgte durch die CO2 Foundation und Roger Worthington. JCS wurde durch das Stipendium der dänischen Nationalen Forschungstiftung DNRF173 unterstützt.

Das World Scientists' Warning of a Climate Emergency Paper (Ripple et al. 2020) hat mittlerweile mehr als 15.600 Unterzeichner aus 165 Ländern, und wir sammeln weiterhin Unterschriften von Wissenschaftlern. Um zu unterzeichnen oder mehr zu erfahren, besuchen Sie die Website der Alliance of World Scientists unter <https://scientistwarning.forestry.oregonstate.edu>. Um A Scientist's Warning, einen aktuellen Dokumentarfilm über Wissenschaftler, die sich zu Wort melden, zu sehen, besuchen Sie <https://www.youtube.com/watch?v=byXGCPo-80w>.

Biografie des Autors

William J. Ripple (bill.ripple@oregonstate.edu) und Beverly E. Law sind 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 sind mit Terrestrial Ecosystems Research Associates in Corvallis, Oregon, in den Vereinigten Staaten verbunden. Johan Rockström und Stefan Rahmstorf sind am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) der Leibniz-Gemeinschaft in Potsdam tätig. Johan Rockström ist außerdem mit dem Institut für Umweltwissenschaften 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 mit der School of Life Sciences der Nanjing University in Nanjing, China, verbunden. Jens-Christian Svenning ist mit dem Center for Ecological Dynamics in a Novel Biosphere am Department of Biology der Universität Aarhus in Aarhus, Dänemark, verbunden. Cássio Cardoso Pereira ist mit der Universidade Federal de Minas Gerais in Minas Gerais, Brasilien, verbunden. Thomas W. Crowther ist mit dem Institut für Integrative Biologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, Schweiz, verbunden.

Zitierte Referenzen

Armstrong McKay DI, et al. . 2022. Eine globale Erwärmung von mehr als 1,5 °C könnte mehrere Klimakippunkte auslösen. *Wissenschaft* 377: eabn7950.

[Google Scholar](#)

[Querverweis](#)

[PubMed \(Englisch\)](#)

[WorldCat](#)

Arrighi J, et al. . 2024. Klimawandel und die Eskalation globaler extremer Hitze: Bewertung und Bewältigung der Risiken. Climate Central, Climate Centre, World Weather Attribution.

Bamberg S, Rees JH, Schulte M. 2018. Environmental protection through societal change: What psychology knows about collective climate action—and what it needs to find out. Pages 185–213 in Clayton S, Manning C, eds. *Psychology and Climate Change*. Elsevier.

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

Barnes C et al. 2024a. Extreme Sahel Heatwave that Hit Highly Vulnerable Population at the End of Ramadan Would Not Have Occurred without Climate Change. Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/110771>.

Barnes C et al. 2024b. Hot, dry and windy conditions that drove devastating Pantanal wildfires 40% more intense due to climate change. <http://hdl.handle.net/10044/1/113726>.

Boulton CA, Lenton TM, Boers N. 2022. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. *Nature Climate Change* 12: 271–278.

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

Brozović D. 2023. Societal collapse: A literature review. *Futures* 145: 103075.

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

Calvin WH. 2020. Extreme Weather: And What to Do about It. CO₂ Foundation. <https://www.amazon.com/EXTREME-WEATHER-what-do-about-ebook/dp/B0841R8LV7>

Carrington D. 2024. World's top climate scientists expect global heating to blast past 1.5C target. Guardian (8 May 2024).

www.theguardian.com/environment/article/2024/may/08/world-scientists-climate-failure-survey-global-temperature.

Cheng L et al. 2024. New record ocean temperatures and related climate indicators in 2023. *Advances in Atmospheric Sciences* 41: 1068–1082.

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

Clarke B et al. 2024. Climate Change, El Niño, and Infrastructure Failures Behind Massive Floods in Southern Brazil. Imperial College of London.

<http://hdl.handle.net/10044/1/111882>.

de Vrese P, Stacke T, Gayler V, Brovkin V. 2024. Permafrost cloud feedback may amplify climate change. *Geophysical Research Letters* 51: e2024GL109034.

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

Ebi KL et al. 2021. Hot weather and heat extremes: Health risks. *Lancet* 398: 698–708.

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

Esper J, Torbenson M, Büntgen U. 2024. 2023 summer warmth unparalleled over the past 2,000 years. *Nature* 631: 94–97.

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

Flores BM et al. 2024. Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature* 626: 555–564.

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

Goldman L, Carter S. 2024. Global Forest Watch's 2023 tree cover loss data explained. 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 Record marine heat waves: Coral reef bleaching HotSpot maps reveal global sea surface temperature extremes, coral mortality, and ocean circulation changes. *Oxford Open Climate Change* 4: kgae005.

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

Guenther G. 2024. *The Language of Climate Politics: Fossil Fuel Propaganda and How to Fight It*. Oxford University Press.

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

Guterres A. 2024. Following three hottest days on record, secretary-general launches global action call to care for most vulnerable, protect workers, boost resilience using data, science. United Nations (25 July 2024).

<https://press.un.org/en/2024/sgsm22319.doc.htm>.

[WorldCat](#)

Hansen JE, et al. . 2023. Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change* 3: kgad008.

Hoegh-Guldberg O, Poloczanska ES, Skirving W, Dove S. 2017. Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science* 4: 158.

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

CenCO2PIP Consortium, Hönisch B, et al. 2023. Toward a cenozoic history of atmospheric CO₂. *Science* 382: eadi5177.

Horwath M et al. 2021. Global sea-level budget and ocean-mass budget, with focus on advanced data products and uncertainty characterisation. *Earth System Science Data Discussions* 2021: 1–51.

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

Howard JT, Androne N, Alcover KC, Santos-Lozada AR. 2024. Trends of Heat-Related Deaths in the US, 1999–2023. *JAMA*.

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

Hoyer D, Bennett JS, Reddish J, Holder S, Howard R, Benam M, Levine J, Ludlow F, Feinman G, Turchin P. 2023. Navigating polycrisis: Long-run socio-cultural factors shape response to changing climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 378: 20220402.

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

Hughes TP et al. 2018. Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature* 556: 492–496.

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

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. IPCC.

Keith DW. 2020. Geoengineering the climate: History and prospect 1. Pages 207–246 in Maynard A, Stilgoe J, eds. *The Ethics of Nanotechnology, Geoengineering, and Clean Energy*. Routledge.

Kemp L et al. 2022. Climate endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119: e2108146119.

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

Kimutai J et al. 2024. Urban Planning at the Heart of Increasingly Severe East African Flood Impacts in a Warming World. Imperial College of London.

<http://hdl.handle.net/10044/1/111671>.

Kulp SA, Strauss BH. 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications* 10: 1–12.

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

Lee JJ. 2024. NASA analysis sees spike in 2023 global sea level due to El Niño. *NASA Sea Level Change* (27 March 2024).

<https://sealevel.nasa.gov/news/270/nasa-analysis-sees-spike-in-2023-global-sea-level-due-to-el-nino>.

[WorldCat](#)

Lenton TM et al. 2023. Quantifying the human cost of global warming. *Nature Sustainability* 6: 1237–1247.

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

Lenton TM, Held H, Kriegler E, Hall JW, Lucht W, Rahmstorf S, Schellnhuber HJ. 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 1786–1793.

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

Levy BS, Patz JA. 2015. Climate change, human rights, and social justice. *Annals of Global Health* 81: 310–322.

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

Malabarba LR, Becker FG, Pereira MJR, Borges-Martins M. 2024. Mega engineering projects won't stop a repeat of the devastating southern Brazil floods. *Nature* 630: 35.

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

Mann ME. 2023. *Our Fragile Moment: How Lessons from Earth's Past Can Help Us Survive the Climate Crisis*. PublicAffairs.

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

Mann M, Hayhoe K. 2024. The antidote to doom is doing. *Financial Times* (15 May 2024). www.sustainableviews.com/the-antidote-to-doom-is-doing-ac97ab67.

Masson-Delmotte V et al. , eds. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.

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

Matthews HD, Wynes S. 2022. Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5° C. *Science* 376: 1404–1409.

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

Muttitt G, Kartha S. 2020. Equity, climate justice and fossil fuel extraction: Principles for a managed phase out. *Climate Policy* 20: 1024–1042.

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

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Reflecting Sunlight: Recommendations for Solar Geoengineering Research and Research Governance*. National Academies Press.

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

Ngcamu BS. 2023. Climate change effects on vulnerable populations in the Global South: A systematic review. *Natural Hazards* 118: 977–991.

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

Nhat Hanh T. 2015. Thich Nhat Hanh's statement on climate change for the United Nations. Plum Village (2 July 2015).

<https://plumvillage.org/about/thich-nhat-hanh/letters/thich-nhat-hanh-statement-on-climate-change-for-unfccc>.

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2024. During a year of extremes, carbon dioxide levels surge faster than ever. NOAA (6 June 2024).

www.noaa.gov/news-release/during-year-of-extremes-carbon-dioxide-levels-surge-faster-than-ever.

O'Donnell JA et al. 2024. Metal mobilization from thawing permafrost to aquatic ecosystems is driving rusting of Arctic streams. *Communications Earth and Environment* 5: 268.

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

Pearce O, Ware J. 2024. *Climate Breakdown 2024 6 Months of Climate Chaos Since COP28*. Christian Aid.

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

Pelle T, Greenbaum JS, Dow CF, Jenkins A, Morlighem M. 2023. Subglacial discharge accelerates future retreat of Denman and Scott Glaciers, East Antarctica. *Science Advances* 9: eadi9014.

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

Pinto I et al. 2024. Extreme Heat Killing More than 100 People in Mexico Hotter and Much More Likely Due to Climate Change. Imperial College of London.

<http://hdl.handle.net/10044/1/112370>.

Pope Francis. 2023. Apostolic exhortation: *Laudate deum*. Vatican (4 October 2023).

Rees WE. 2023. The human ecology of overshoot: Why a major “population correction” is inevitable. *World* 4: 509–527.

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

REN21. 2024. Renewables 2024: Global Status Report: Energy Supply 2024.
REN21. www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024_Supply.pdf.

Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Barnard P, Moomaw WR. 2020. World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience* 70: 8–12.

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

Ripple WJ, Moomaw WR, Wolf C, Betts MG, Law BE, Gregg J, Newsome TM. 2022. Six steps to integrate climate mitigation with adaptation for social justice. *Environmental Science and Policy* 128: 41–44.

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

Ripple WJ et al. 2023a. The 2023 state of the climate report: Entering uncharted territory. *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. Many risky feedback loops amplify the need for climate action. *One Earth* 6: 86–91.

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

Ripple WJ, Wolf C, van Vuuren DP, Gregg JW, Lenzen M. 2024. An environmental and socially just climate mitigation pathway for a planet in peril. *Environmental Research Letters* 19: 021001.

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

Robinson A, Lehmann J, Barriopedro D, Rahmstorf S, Coumou D. 2021. Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate. *NPJ Climate and Atmospheric Science* 4: 45.

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

Roser M. 2020. Why did renewables become so cheap so fast? Our World in Data. (6 June 2024; <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>).

Rousi E, Kornhuber K, Beobide-Arsuaga G, Luo F, Coumou D. 2022. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. *Nature Communications* 13: 1–11.

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

Shindell D et al. 2024. The methane imperative. *Frontiers in Science* 2: 1349770.

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

Smith W, Bhattarai U, MacMartin DG, Lee WR, Visioni D, Kravitz B, Rice CV. 2022. A subpolar-focused stratospheric aerosol injection deployment scenario. *Environmental Research Communications* 4: 095009.

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

Sovacool BK, Baum CM, Low S. 2022. Determining our climate policy future: Expert opinions about negative emissions and solar radiation management pathways. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 27: 58.

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

Steffen W et al. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 8252–8259.

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

Stendel M, Francis J, White R, Williams PD, Woollings T. 2021. The jet stream and climate change. Pages 327–357 in Letcher T, ed. *Climate Change*, 3rd ed. Elsevier.

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

Supran G, Rahmstorf S, Oreskes N. 2023. Assessing ExxonMobil's global warming projections. *Science* 379: eabk0063.

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

Thiem H. 2024. How does 2023–24 global coral bleaching compare to past events? National Oceanic and Atmospheric Administration (21 May 2024). www.climate.gov/news-features/featured-images/how-does-2023-24-global-coral-bleaching-compare-past-events.

Tian H et al. 2024. Global nitrous oxide budget (1980–2020). *Earth System Science Data* 16: 2543–2604.

Tollefson J. 2021. Top climate scientists are sceptical that nations will rein in global warming. *Nature* 599: 22–24.

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

[UNEP] United Nations Environment Programme. 2023. *Emissions Gap Report 2023: Broken Record: Temperatures Hit New Highs, yet World Fails to Cut Emissions (Again)*. UNEP.

Vecellio DJ, Kong Q, Kenney WL, Huber M. 2023. Greatly enhanced risk to humans as a consequence of empirically determined lower moist heat stress tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120: e2305427120.

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

Vilani RM, Ferrante L, Fearnside PM. 2023. The first acts of Brazil's new president: Lula's new Amazon institutionality. *Environmental Conservation* 50: 148–151.

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

Visioni D, Slessarev E, MacMartin DG, Mahowald NM, Goodale CL, Xia L. 2020. What goes up must come down: Impacts of deposition in a sulfate geoengineering scenario. *Environmental Research Letters* 15: 094063.

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

Weiskopf SR, et al. . 2024. Biodiversity loss reduces global terrestrial carbon storage. *Nature Communications* 15: 4354.

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

White RH et al. 2023. The unprecedented Pacific Northwest heatwave of June 2021. *Nature Communications* 14: 727.

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

Whyte KP. 2018. Indigeneity in geoengineering discourses: Some considerations. *Ethics, Policy, and Environment* 21: 289–307.

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

Wilson PJ. 2021. Climate change inaction and optimism. *Philosophies* 6: 61.

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

Woodhead AJ, Hicks CC, Norström AV, Williams GJ, Graham NA. 2019. Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology* 33: 1023–1034.

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

[WHO] World Health Organization. 2023. Climate change. WHO (12 October 2023). www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health.

Wunderling N et al. 2024. Climate tipping point interactions and cascades: A review. *Earth System Dynamics* 15: 41–74.

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

Zachariah M, Clarke B, Barnes C, Valhberg M, Banthiya A, Thalheimer L, Otto FEL. 2024a. Climate Change Increased Heavy Precipitation Associated with Impactful Storm Bettina Over Black Sea. Imperial College of London. <http://hdl.handle.net/10044/1/108704>.

Zachariah M, Clarke B, Vahlberg M, Marghidan CP, Singh R, Sengupta S, Otto FEL. 2024b. Climate Change Made the Deadly Heatwaves that Hit Millions of

Highly Vulnerable People across Large Parts of Asia More Frequent and Extreme. Imperial College London. <http://hdl.handle.net/10044/1/111274>.

Author notes

Co-lead authors William J. Ripple and Christopher Wolf contributed equally to the work.

© The Author(s) 2024. Published by Oxford University Press on behalf of the American Institute of Biological Sciences.

This article is published and distributed under the terms of the Oxford University Press, Standard Journals Publication Model (https://academic.oup.com/journals/pages/open_access/funder_policies/chorus/standard_publication_model)

Supplementary data

[biae087_Supplemental_Files](#)

The methods and details of planetary vital sign variables used in this report along with other discussion appear in supplemental file S1 of this article. A list of the scientist signatories for Ripple and colleagues (2020) as of 29 March 2023 appears in supplemental file S2 of this article. Note that these signatures are not for the current article.

- zip file