



Globale Erwärmung Beschleunigt sich

Ein Aufruf zu entschlossenem Handeln



Gemeinsamer Aufruf der DMG und der DPG

INDEX =====>

- Einleitung
- [Klimaaufruf 2025 - Kurzfassung \[PDF\]](#)
- [Vollständige Stellungnahme \[PDF\]](#)
- Ausgangslage
- Aussichten
- Wissenschaftliche Hintergründe
- Der natürliche Treibhauseffekt
- Globale Kohlenstoffbilanz
- Weitere wichtige Treibhausgase
- Prognosen
- Rückkopplungseffekte
- Gefahren einer sich beschleunigenden Erwärmung
- Kipppunkte
- Warum der Klimawandel anders ist als andere Umweltprobleme
- Negative Treibhausgasemissionen
- Folgen des fossilen Zeitalters
- Kosten und Gesundheitsrisiken
- Wege aus der Nutzung fossiler Energieträger
- Technologien zur nicht-fossilen Energienutzung
 - a. Solarenergie
 - eb. Windenergie
 - c. Wasserkraft



- d. Bioenergie
- e. Geothermie
- f. Meeresenergie
- g. Kernenergie
- Stromspeicher- und Netztechnologien
- Energieeinsparung
- Fazit
- Literaturverzeichnis
- Weitere Publikationen zu diesem Thema

<===== INDEX

Einleitung

Die Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels sind mittlerweile unübersehbar und ihr Ausmaß droht unsere Anpassungsfähigkeiten zu überschreiten. Zudem mehren sich die Anzeichen dafür, dass die globale Erwärmung schneller als bisher erwartet fortschreitet. Daher ist dringendes Handeln geboten.

Extremwetterereignisse in Deutschland, Europa und weltweit nehmen sowohl in ihrer Stärke als auch in ihrer Häufigkeit zu und treten zunehmend in Regionen auf, in denen diese bisher unbekannt waren.

Die Kombination aus Hitze und Trockenheit lässt Wälder absterben und beeinträchtigt die Landwirtschaft stark.

Auch der lokale Wasserhaushalt wird durch die Folgen der globalen Erwärmung (Abschmelzen der Alpengletscher, Ausbleiben der Schneeschmelze, etc.) stark negativ beeinflusst.

Das betrifft sowohl die Landwirtschaft als auch die Trinkwasserversorgung. Wirbelstürme betreffen heute Regionen, die früher weitestgehend verschont blieben und nicht darauf vorbereitet sind.

Extremwetterereignisse, einschließlich großer Überflutungen und großflächiger Waldbrände, fordern eine Vielzahl von Todesopfern und verursachen jedes Jahr Schäden an privater und öffentlicher Infrastruktur in Höhe von vielen Milliarden Euro.

In vielen Regionen der Erde erreichen die Temperaturen Rekordwerte. Solche Hitzewellen stellen – auch in Deutschland – eine große gesundheitliche Belastung dar. Diese gefährden insbesondere ältere und gesundheitlich beeinträchtigte Menschen.

Steigende Temperaturen mindern die Arbeitsfähigkeit der Bevölkerung und verursachen dadurch enorme wirtschaftliche Schäden.

Gleichzeitig beobachten Expertinnen und Experten weltweit einen drastischen Verlust der Artenvielfalt, der sich durch den Klimawandel weiter verstärkt und der die



Widerstandsfähigkeit unserer Ökosysteme beeinträchtigt. Weltweit steigt das Risiko, dass Verarmung, Hunger, Fluchtbewegungen sowie gesellschaftliche und weltpolitische Instabilität weiter zunehmen.

Es ist nicht mehr zu leugnen: Der Klimawandel schreitet ungebremst voran und beschleunigt sich. In den Jahren 2023 und 2024 lagen die globalen Durchschnittstemperaturen erstmals 1,5 Grad über dem vorindustriellen Niveau.

Es ist sogar möglich, dass die in Paris beschlossene 1,5-Grad-Grenze der globalen Erwärmung bereits dauerhaft überschritten sein könnte.

Inzwischen ist selbst die Verpflichtung, die globale Erwärmung deutlich unter 2 Grad zu halten, nur noch mit erheblich erhöhten Anstrengungen der internationalen Gemeinschaft erreichbar, und es besteht eine wachsende Gefahr, dass dieses Ziel verfehlt wird.

Die globale Erwärmung ist in eine Phase der Beschleunigung eingetreten.

Bereits um das Jahr 2050 könnte die Erwärmung sogar 3 Grad gegenüber der vorindustriellen Zeit erreichen, wobei der Temperaturanstieg in Deutschland deutlich höher als im globalen Mittel ausfällt.

Ergebnisse von Klimamodellen deuten darauf hin, dass bis Ende des Jahrhunderts eine Erwärmung bis zu 5 Grad wahrscheinlich ist.

Dies kann nur noch durch ein Umsteuern der Menschheit verhindert werden.

1. DIE BESCHLEUNIGTE ERWÄRMUNG IST EINE GEFAHR FÜR LEIB UND LEBEN

Schon die derzeit messbaren Temperaturveränderungen haben dramatische Auswirkungen. Weltweit, in Europa und Deutschland nehmen extreme Wetterereignisse zu und treten zunehmend in Regionen auf, in denen diese Ereignisse bisher völlig unbekannt waren. Einerseits kommt es immer häufiger zu langanhaltenden Dürreperioden, Hitzewellen und großflächigen Wald- und Buschbränden, andererseits zu Starkniederschlägen, häufig begleitet von schweren Überschwemmungen.

Die dadurch entstehenden Schäden an privaten und gemeinschaftlichen Gütern sind immens und drohen mit Fortschreiten der globalen Erwärmung weiter zu steigen.

Auch die Gefahren für Leib und Leben nehmen durch die klimatischen Veränderungen stark zu. Insbesondere kleine Kinder sowie ältere und medizinisch vorbelastete Menschen leiden unter extremer Hitze. In manchen Weltregionen ist es schon heute kaum mehr möglich, dauerhaft unter den extremen Wetterbedingungen zu (über-)leben.

Es ist möglich, dass noch vor 2050 in tropischen Regionen erstmals Situationen auftreten, in denen die Kombination aus hoher Luftfeuchtigkeit und extrem hohen Temperaturen ein Überleben im Freien unmöglich machen.

Auch in den Ozeanen werden regional Hitzewellen mit ungewöhnlich hohen Wassertemperaturen, sinkendem Sauerstoffgehalt und erhöhter Kohlensäurekonzentration immer häufiger, mit fatalen Folgen für die Lebewesen im Meer.



Es ist zu erwarten, dass sich der Meeresspiegelanstieg erheblich beschleunigen wird und in den nächsten Jahrzehnten weltweit Küstenregionen bedroht.

Zunehmend extremere Wetterbedingungen erschweren in weiten Regionen der Welt eine planbare Landwirtschaft, machen sie zum Teil unmöglich.

Auch die Wasserversorgung wird durch das Abschmelzen von Gletschern vielerorts zur ständigen Herausforderung. Zudem sinkt die globale Artenvielfalt dramatisch.

Für hunderte Millionen Menschen - derzeit noch vornehmlich im globalen Süden - bergen diese Entwicklungen ein sehr hohes Potential für Verarmung und Hungersnöte.

So besteht ein hohes Risiko, dass in einigen Regionen der Welt die Grenzen der Bewohnbarkeit überschritten werden.

Dadurch würde die Wahrscheinlichkeit erheblich steigen, dass Menschen sich dazu veranlasst sehen, diese Regionen zu verlassen.

Die Kosten durch infolge extremer Wetterereignisse zerstörte Infrastruktur, sinkende Arbeitsleistung, medizinischen Mehraufwand und Prävention können sich in Deutschland bereits bis 2050 auf bis zu eine Billion Euro summieren.

Die nun eingetretene Beschleunigung der globalen Erwärmung stellt ein sehr hohes Risiko für das Überleben ziviler Gesellschaften dar.

In Bezug auf die fortschreitende Erwärmung besteht ganz konkret das Risiko des Kontrollverlustes.

2. KLIMASCHUTZ UND KLIMAAANPASSUNG HABEN DIE GLEICHE SEHR HOHE DRINGLICHKEIT

Angesichts dieser dramatischen Entwicklungen ist sofortiges Handeln erforderlich: Klimaschutzmaßnahmen dürfen daher nicht gebremst oder gar verhindert werden.

Vielmehr müssen die Europäische Gemeinschaft und insbesondere auch Deutschland mit Nachdruck handeln.

Um das Klimasystem auf einem Niveau zu stabilisieren, welches die Grundlage ziviler Gesellschaften bewahrt, muss der Ausstoß von Treibhausgasen wie CO₂, Methan und Lachgas aus der Gewinnung und Verbrennung fossiler Brennstoffe, der Landwirtschaft und der Zerstörung natürlicher Lebensräume weltweit schnell und massiv sinken.

Aktuell steigen die Emissionen nach wie vor.

Zugleich muss CO₂ mit geeigneten Methoden aktiv aus der Atmosphäre entfernt werden, um die Folgen der globalen Erwärmung wieder auf ein beherrschbares Maß zu bringen.

Technische Methoden zur ausreichenden Entfernung von CO₂ sind derzeit noch nicht ausgereift, verbrauchen sehr viel Energie und sind teuer.

Ohnehin gelingt die Verminderung nur, wenn die industrielle Produktion und die Energiegewinnung unverzüglich auf erneuerbare Energiequellen umgestellt werden.

Dazu braucht es eine konsequente Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien,



der Stromverteilungssysteme und der Speichertechnik.

Trotz einer deutlichen Reduktion von Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 reichen die aktuellen Maßnahmen nicht aus, um die Ziele des deutschen Klimaschutzgesetzes bis 2030 oder die angestrebte Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045 zu erreichen.

Eine dezentrale Energieerzeugung ist zudem ein Beitrag zur Risikosenkung im Verteidigungsfall.

3. ENTSCLOSSENES GEMEINSCHAFTLICHES HANDELN KANN DEN KONTROLLVERLUST VERHINDERN

In den letzten Jahrzehnten wurden Wege zu einer klimaneutralen Wirtschaft entwickelt und in zahlreichen globalen sowie nationalen Studien beschrieben.

Die Möglichkeiten, den Klimawandel zu bremsen und damit zum Schutz der Menschen und ihrer Lebensgrundlagen beizutragen, sind somit bekannt und dieser Weg kann auch beschritten werden.

Die oben aufgezeigten Zukunftsszenarien stellen kein unentrinnbares Schicksal dar, sondern sie können noch vermieden werden.

Trotz dieser offensichtlichen Entwicklungen haben die globale Gemeinschaft und auch Deutschland bislang nur unzureichend auf die mit der globalen Erwärmung verbundenen Gefahren reagiert.

[Klimaaufruf 2025 - Kurzfassung \[PDF\]](#)

[Vollständige Stellungnahme \[PDF\]](#)

Ausgangslage

Seit der Warnung der DPG und der DMG zum Klimawandel im Jahr 1987 [0] und dem ersten Bericht des Weltklimarats der Vereinten Nationen (IPCC) im Jahr 1990 sind die jährlichen CO₂-Emissionen um 60 Prozent gestiegen.

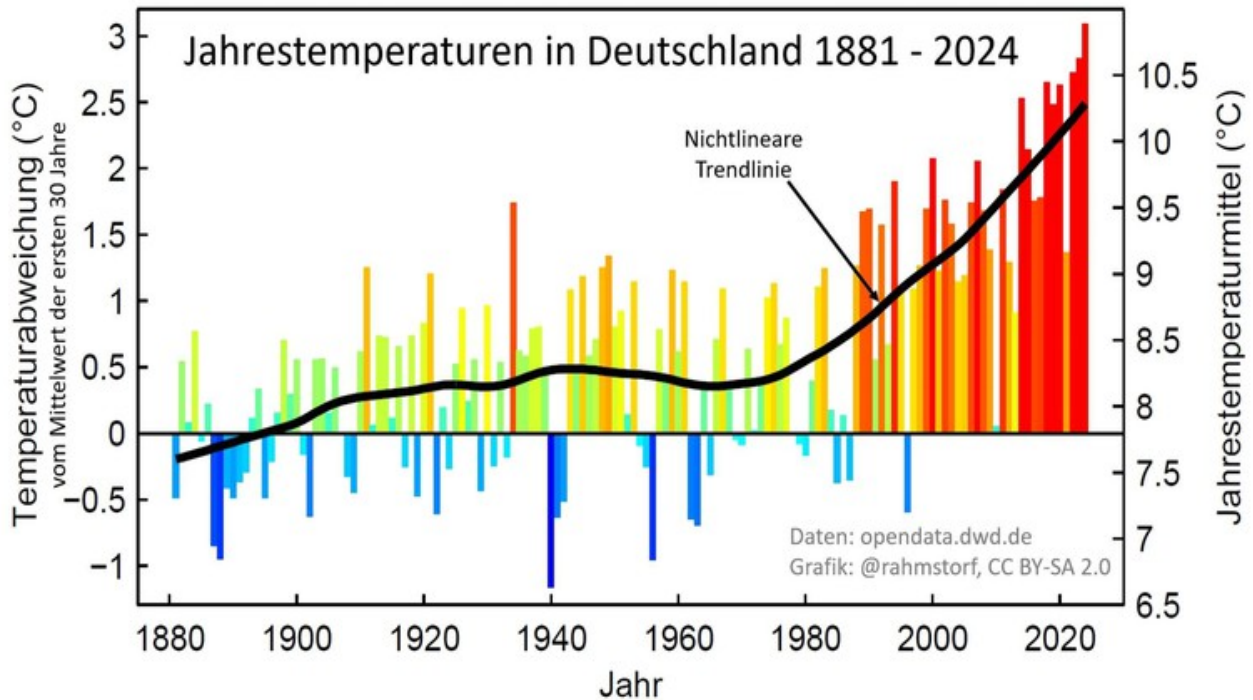
Die Hälfte des seit Beginn der Industrialisierung vor 150 Jahren ausgestoßenen CO₂ wurde in den letzten 30 Jahren emittiert.

Auch die Konzentrationen weiterer klimawirksamer Spurengase wie Methan, Distickstoffoxid (Lachgas) und halogenierter Kohlenwasserstoffe in der Luft steigen weltweit drastisch an.

Setzt sich dieser Trend fort, wird die mittlere Temperatur in Bodennähe aus rein physikalischen Gründen weiter ansteigen. Verstärkende Rückkopplungseffekte und damit



eventuell verbundene, sogenannte Kippunkte beschleunigen diese Erwärmung zusätzlich.



Jahrestemperaturen in Deutschland 1881- 2024 .

Über die Zeit ist eine deutliche Zunahme der Temperatur hin zu höheren Temperaturen zu erkennen.

© Stefan Rahmstorf; Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst, CC BY-SA 2.0

Messungen zeigen, dass die Erwärmung regional und saisonal unterschiedlich ausfällt. Grundsätzlich ist sie über den Kontinenten stärker ausgeprägt als über den Ozeanen. Am stärksten erwärmt sich die Arktis.

Während dies dort zum Abschmelzen des Polareises führt, kommt es in Mitteleuropa und insbesondere im Mittelmeerraum zu einer Zunahme von Hitzewellen, Dürren und Waldbränden sowie Starkregen und Überschwemmungen.

2023/2024 überschritten die Temperaturen im globalen Jahresmittel erstmals den Wert von 1,5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau.

Physikalische Zusammenhänge lassen den Schluss zu, dass die 1,5-Grad-Grenze des Pariser Abkommens bereits überschritten sein könnte.

Dies lässt sich jedoch erst rückwirkend in einigen Jahren feststellen, wenn es bereits zu spät ist, um noch gegenzusteuern.

Ursachen des Anstiegs von klimawirksamen Spurengasen in der Atmosphäre:

Kohlendioxid (CO₂): zum größten Teil durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas sowie durch industrielle Prozesse (wie Zementherstellung), Waldrodungen, Bodenerosion und die Entwässerung von Feuchtgebieten.



Methan (CH₄): durch die Intensivierung der Landwirtschaft, insbesondere Viehzucht und Reisanbau, bei der Nutzung pflanzlicher und tierischer Rohstoffe, durch Lecks in Erdgasinfrastrukturen (insbesondere beim Fracking), durch Veränderungen in tropischen Feuchtgebieten und durch Auftauen von Permafrostböden als Folge der globalen Erwärmung.

Distickstoffoxid (Lachgas, N₂O): durch mikrobiellen Stoffwechsel vor allem in der Landwirtschaft, durch die übermäßige Verwendung von Düngemitteln und durch den Anbau von Pflanzen zur Erzeugung von Biokraftstoffen.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe: durch nicht sachgerechte Entsorgung oder Undichtigkeit von Kühl- und Klimaanlage sowie bestimmte Typen von Wärmepumpen, aber auch durch industrielle Prozesse.

Diese Gase lassen zwar die sichtbare Sonnenstrahlung fast ungehindert auf die Erde einfallen, sie absorbieren jedoch einen Teil der entstehenden Wärmestrahlung der Erde und verhindern, dass diese in den Weltraum entweicht (Treibhauseffekt).

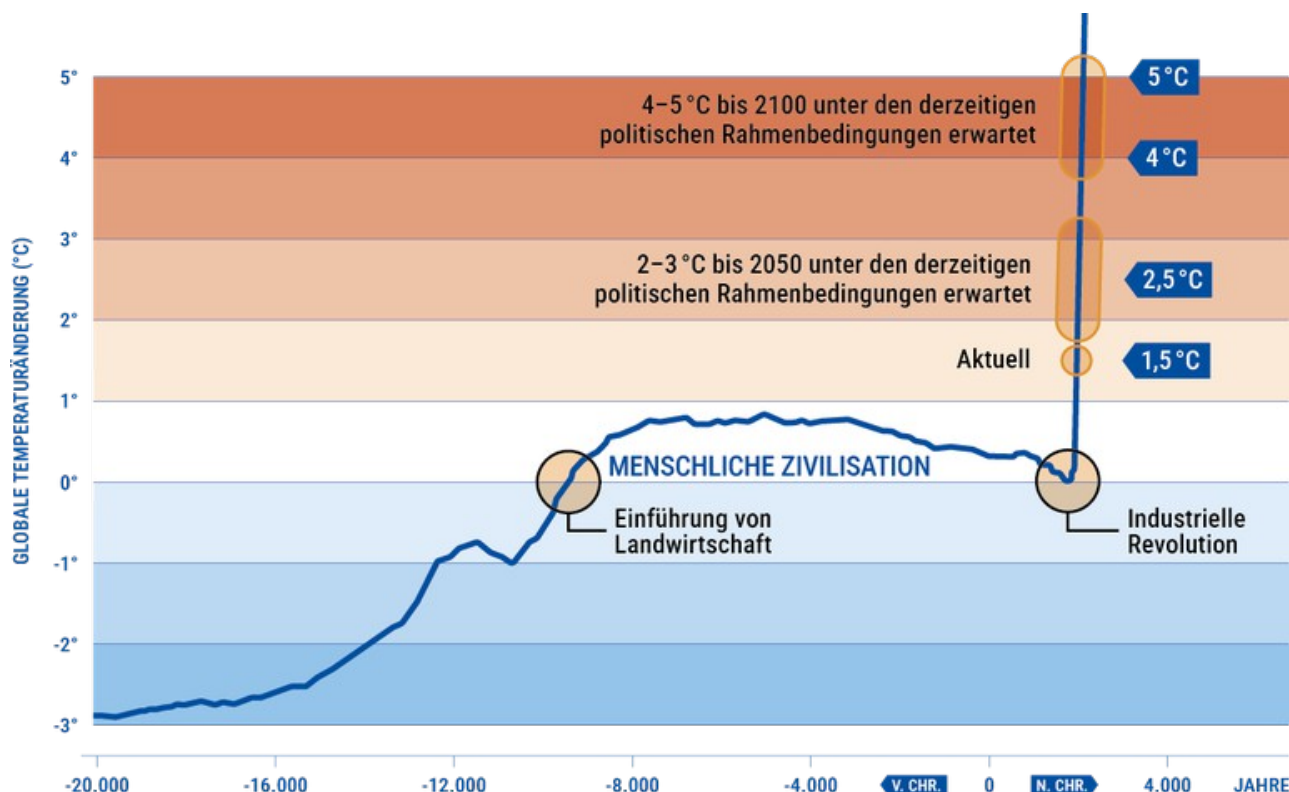
Aussichten

Obwohl die Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 reduziert wurden, reichen die aktuellen Maßnahmen nicht aus, um die Ziele des deutschen Klimaschutzgesetzes bis 2030 oder die Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045 zu erreichen.

In Deutschland und international sind die zugesicherten Klimaschutzziele deutlich zu gering bemessen (**Ambitionsücke**) und die derzeit umgesetzten und vorgesehenen Maßnahmen reichen nicht aus, um selbst diese zu gering bemessenen Ziele zu erreichen (**Umsetzungslücke**).

Dies hat weitreichende Folgen:

Die Ambitionsücke führt bis 2100 mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Erwärmung von 2 bis zu 5 Grad gegenüber den vorindustriellen Temperaturen, die Umsetzungslücke zu einer weiteren Erwärmung um einige Grad.[1,2, VI] Bereits bis 2050 besteht das Risiko einer Erwärmung um 3 Grad.



Das gemäßigte Klima der letzten 10 Jahrtausende hat die Voraussetzungen für die Entwicklung menschlicher Zivilisationen geschaffen. Die gegenwärtige Generation junger Menschen muss sich der Tatsache bewusst sein, dass sie möglicherweise das Ende dieser gemäßigten Umweltbedingungen mit all ihren Konsequenzen erleben wird. © DPG / Gehlen 2025 [IV]

Im Pariser Klimaabkommen wurde als langfristiges Ziel eine maximal zulässige, globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad, möglichst auf 1,5 Grad, festgelegt. Notwendig hierfür ist die Einhaltung einer Obergrenze der CO₂-Emissionen, die noch emittiert werden können (globales CO₂-Restbudget). Bezogen auf eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad ist ein fairer Anteil dieses Budgets für Deutschland wohl bereits seit 2023 aufgebraucht.[3] Um die in Paris völkerrechtsverbindlich vereinbarte Grenze einzuhalten, müssen ab sofort und in den nächsten Jahren zunehmend die CO₂-Emissionen nennenswert reduziert werden. Auch für das andere im Paris-Abkommen formulierte Ziel, die globale Erwärmung deutlich unterhalb von 2 Grad zu halten (Klimagrenze), und damit eine unkontrollierbare Entwicklung zu vermeiden, wird es vor allem darauf ankommen, die CO₂-Emissionen weltweit so rasch wie möglich stark zu reduzieren. Der IPCC sprach bereits 2021 von einer Halbierung der CO₂-Emissionen bis 2030 gegenüber 2019 bei gleichzeitiger Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre, um die 1,5 Grad einzuhalten.[4] Der Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 24. März 2021 verpflichtet dazu, politische Entscheidungen in Deutschland auf die Begrenzung der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad und möglichst auf 1,5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau auszurichten. Dass Treibhausgasemissionen gemindert werden müssen sowie die Klimaneutralität bis 2045, folgen auch aus dem Grundgesetz.[5,6] Das Eindämmen einer weiterhin fortschreitenden globalen Erwärmung mit absehbaren Risiken für die Gesundheit und das Leben der Menschen erfordert aus der



Sicht von DPG und DMG eine strikte und vorrangige Fokussierung auf das Erreichen der weltweiten CO₂-Netto-Null-Emissionen bis Mitte des Jahrhunderts. Langfristig gilt es dann, die Konzentration von Treibhausgasen und insbesondere CO₂ in der Atmosphäre zusätzlich durch natürliche Methoden oder technische Maßnahmen weiter abzusenken. Technische Methoden stehen bislang nicht ausreichend zur Verfügung, sind im nötigen Umfang praktisch unbezahlbar und benötigen, um wirksam zu sein, extrem viel Energie.

Wissenschaftliche Hintergründe

Der natürliche Treibhauseffekt

Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der Atmosphäre haben eine entscheidende Wirkung auf das Klima. Die Spurengase absorbieren einen Teil der von der Erdoberfläche abgestrahlten Wärme und strahlen diese teilweise wieder zurück.

Durch diesen Treibhauseffekt beträgt die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche derzeit etwa +15 Grad. Ohne diese Treibhausgase würde die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche etwa -18 Grad betragen. Im Verlauf der letzten Jahrmillionen schwankte die mittlere Temperatur auf der Erde zwischen Eis- und Warmzeiten über viele Jahre gemittelt um ca. -5 Grad bis +2 Grad gegenüber dem vorindustriellen Mittel.

Die Schwankungen seit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 10.000 Jahren lagen deutlich unter +/- 1,5 Grad.[7]

Globale Kohlenstoffbilanz

Vom Beginn der Industrialisierung um 1750 bis September 2024 stieg die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre insgesamt um etwa 50 Prozent an. Im Vergleich zu 2023 lag der weitere Anstieg bei etwa einem Prozent innerhalb eines Jahres.

Die Hauptquellen der CO₂-Emissionen waren 2023 die Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie Kohle, Erdöl und -gas (37 Gigatonnen CO₂) sowie Änderungen der Landnutzung. Dazu kommt die Zerstörung von Teilen der Biosphäre, insbesondere durch Waldbrände, Waldrodung, Bodenerosion und die Trockenlegung von Mooren (4 Gigatonnen CO₂).

Nur etwa 43 Prozent des innerhalb der vergangenen 175 Jahre freigesetzten Kohlenstoffdioxids sind in der Atmosphäre geblieben. Die übrigen 57 Prozent wurden bislang zum überwiegenden Teil von den Ozeanen (26 Prozent) und in der terrestrischen Biosphäre (31 Prozent) gespeichert. [8] Der Anstieg der CO₂-Konzentration betrug im Jahr 2024 mehr als 3,5 ppm (parts per Million, 1 Millionstel).

Dies ist mit Abstand der größte jährliche Zuwachs seit dem Beginn der direkten CO₂-Messungen [9], was auf eine verminderte Aufnahmefähigkeit der Biosphäre durch den Klimawandel hindeutet. Verdoppelt sich die CO₂-Konzentration im Vergleich zum vorindustriellen Wert, steigt die globale Durchschnittstemperatur um etwa 2 bis 5 Grad. [10,VII] Aktuelle Analysen ozeanischer Sedimente und Satellitenmessungen zur



Veränderung des Rückstrahlvermögens der Erdoberfläche, der sogenannten Albedo, deuten darauf hin, dass der obere Wert wahrscheinlicher ist.[11,IX]

In diesem Fall wäre auch das verbleibende Restbudget an CO₂-Emissionen deutlich geringer als bisher berechnet und CO₂-Netto-Null (Klimaneutralität) müsste noch deutlich früher als bislang vermutet erreicht werden.

Weitere wichtige Treibhausgase

Für die Klimaerwärmung sind nicht allein CO₂-Emissionen aus menschlichen Aktivitäten verantwortlich. Weitere wichtige, klimawirksame Spurengase sind:

- **Methan (CH₄)**, der Hauptbestandteil von Erdgas, hat auf 100 Jahre gerechnet eine ca. 28-mal höhere Klimawirkung als CO₂. [12] Methan entweicht in großen Mengen bei der Förderung von Erdöl sowie beim Fracking und Transport von Erdgas. Es entsteht darüber hinaus auch auf natürliche Weise in der Umwelt durch anaeroben (unter Ausschluss von Luft) Abbau von Biomasse durch Bakterien, beispielsweise in Feuchtgebieten, in der Landwirtschaft (insbesondere der Verdauung von Wiederkäuern), in Abwässern und in Mülldeponien. Durch eine fortschreitende globale Erwärmung könnten in Zukunft außerdem große Mengen des im Permafrost gebundenen Methans in die Atmosphäre gelangen. [13]
- **Distickstoffoxid (N₂O)**, auch als Lachgas bekannt, hat auf 100 Jahre gerechnet eine etwa 273-mal höhere Klimawirksamkeit als CO₂. [13] Es entsteht unter anderem bei der mikrobiellen Zersetzung von überschüssigem Stickstoffdünger und bei Verbrennungsprozessen. Es ist daher notwendig, Stickstoffdünger maßvoll einzusetzen und auf den Anbau von Pflanzen für Biokraftstoffe zu verzichten. [14]
- **Halogenierte Verbindungen (HFCKWs)**, die als Ersatz der früher verwendeten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) heute verstärkt eingesetzt werden, haben eine 800- bis 7000-mal höhere Klimawirksamkeit als CO₂. [13] Sie verzeichnen die höchsten Zuwachsraten aller Treibhausgase. [15] Ihr Einsatz sollte noch konsequenter, als bisher von der Europäischen Union (EU) verordnet, eingeschränkt werden. Insbesondere bei Wärmepumpen und Klimaanlage ist es wichtig, Gase mit geringem Treibhauspotential, wie beispielsweise Propan, einzusetzen. [16]

Prognosen

Der Anstieg der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen hat im Vergleich zum vorindustriellen Bezugszeitraum (1850–1900) zu einem Anstieg der mittleren bodennahen Temperatur auf der Erde um etwa 1,1 Grad (Mittelwert 2011–2020) und in den Jahren 2023 und 2024 von 1,5 Grad geführt. Aktuelle Klimamodellrechnungen prognostizieren mit hoher Wahrscheinlichkeit folgende Konsequenzen für die global gemittelte Temperatur an der Erdoberfläche:

- Bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration im Vergleich zum vorindustriellen Wert steigt sie um etwa 2 bis 5 Grad [10], wobei derzeit vieles darauf hindeutet, dass der höhere Wert zutreffender ist. [11,IX] Eine mögliche Ursache hierfür ist die



weltweite Reduktion von Schwefelemissionen, die in der Vergangenheit zu einer erhöhten Rückstrahlung von einfallender Sonnenstrahlung beitragen. Es könnte sich aber auch um eine signifikante Änderung der Bewölkung handeln, die durch die globale Erwärmung selbst ausgelöst wird.[17]

- Gleichzeitig wurde die verstärkte Erwärmung in den vergangenen Jahren durch eine lange La Niña-Phase im Pazifik verdeckt und trat dann erst durch die anschließende El Niño-Phase offen zu Tage.[18]
- Betrachtet man alle Effekte und Rückkopplungsmechanismen, könnte die Erwärmung noch stärker ausfallen. Daneben kann es zu regionalen Unterschieden kommen, so ist etwa in der Arktis weiterhin eine deutlich stärkere Erwärmung zu erwarten als in Äquatornähe.[19]
- Physikalisch bedingt erwärmt sich die bodennahe Schicht (Lufttemperatur) über Landflächen stärker als über Meeresoberflächen. So ist auch in Deutschland die Erwärmung stärker als im globalen Mittel.[20] Im Jahr 2024 war es hierzulande bereits etwa 3,1 Grad wärmer als zu Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen (1881-1910).[21] Regionale Klimamodelle zeigen, dass für das Emissionsszenario „Weiter-wie-bisher“ in Deutschland ein weiterer Temperaturanstieg zwischen 4 und 6 Grad bis zum Ende des Jahrhunderts zu erwarten ist (gegenüber 1881-1910).[22]

Rückkopplungseffekte

Eine Vielzahl von verstärkenden und abschwächenden Rückkopplungsmechanismen bestimmen das Klima auf der Erde. Nachfolgend sind beispielhaft drei verstärkende und physikalisch nachvollziehbare Rückkopplungsmechanismen genannt:

- Das **Auftauen von Permafrostböden** führt zur Zersetzung großer Mengen von bislang eingefrorener fossiler Biomasse und damit zur Emission von Methan und CO₂. Das wiederum erhöht aufgrund des Treibhauspotentials der beiden Gase die globale Temperatur und beschleunigt das Auftauen weiter.
- Das **Abschmelzen des Meereises und der polaren Eisschilde** verstärkt, ebenso wie das Abschmelzen der Gletscher im Hochgebirge, die Absorption der Sonneneinstrahlung. Das führt zu einer lokalen Temperaturzunahme, was wiederum das Abschmelzen beschleunigt. Wenn diese lokalen Prozesse große Flächen erfassen, hat dies auch globale Auswirkungen. Die sogenannte arktische Verstärkung kann weitreichende Folgen für das Wettergeschehen in Mitteleuropa haben, da der Temperaturunterschied zwischen den Polargebieten und den Tropen maßgeblich die atmosphärische Zirkulation und somit das Wetter steuert.
- Infolge der **Erwärmung der oberen Schichten der Ozeane** entstehende stabilere Schichtungen, die die vertikale Zirkulation bremsen und so zu einer weiteren Erwärmung der Oberflächentemperaturen der Ozeane führen. Damit verringert sich die Energieaufnahme aus der Atmosphäre, wodurch auch die globalen Lufttemperaturen weiter steigen.

Darüber hinaus führt die steigende CO₂-Konzentration zu einer Abkühlung der



Stratosphäre. Im Zusammenspiel mit den noch immer wirksamen FCKWs kommt es dadurch sowohl **über der Antarktis als auch der Arktis zum Ozonabbau**. Änderungen der globalen Luftzirkulation auf Grund der Klimaerwärmung verstärken diesen Prozess, wie etwa im Frühjahr 2020 (Arktisches Ozonloch).[23,24]

Dadurch steigt die UV-Einstrahlung in den mittleren und höheren Breiten [25], mit negativen Folgen für die menschliche Gesundheit. Zusätzlich verstärkt ein arktisches Ozonloch atmosphärische Blockierungen, was unter anderem zu warmen und trockenen Wetterbedingungen über Südeuropa und feuchte Bedingungen über Nordeuropa führt.[26]

Diese Rückkopplungseffekte zeigen, welche Folgen der kontinuierliche Anstieg von Treibhausgaskonzentrationen haben kann.

Zudem ist zu befürchten, dass durch diese Rückkopplungen Erfolge, wie die Vermeidung des Ozonabbaus durch das Verbot von FCKWs, zumindest erheblich verzögert, wenn nicht gar zunichte gemacht werden.

Gefahren einer sich beschleunigenden Erwärmung

Diese prognostizierten Klimaänderungen sind kein fernes Zukunftsszenario mehr – sie geschehen im Hier und Jetzt. Eine Vielzahl von klimatischen Schlüsselgrößen lagen in den Jahren 2023 und 2024 in Bereichen, die weit über die natürlichen Klimaschwankungen der letzten Jahrtausende hinausgehen.

Das betrifft etwa die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur, die global gemittelte Meeresoberflächentemperatur, die Temperatur des Nordatlantiks und der Rückgang des antarktischen Meereises um eine Fläche rund 7-mal so groß wie Deutschland.

Zeitgleich traten verheerende, lang andauernde Hitzewellen, starke Niederschlagsereignisse und Überschwemmungen wie die im Ahrtal, in Griechenland, Libyen und 2024 in Südosteuropa, sowie enorme Waldbrände wie in Kanada, Australien und Sibirien auf.

Diese starke Zunahme großflächiger extremer Wetterereignisse in den vergangenen Jahren lässt befürchten, dass es aufgrund der hohen Treibhausgaskonzentrationen zu einer fundamentalen Änderung des Klimasystems kommt, die sich weiter beschleunigt.

Ob der vom Menschen verursachte Klimawandel zu einem weltweiten gesellschaftlichen Zusammenbruch führen könnte [27, 28], ist gegenwärtig kaum Gegenstand der Forschung und der öffentlichen Debatte.

Kipppunkte

In Zukunft könnten Klima-Kipppunkte – Schwellenwerte im Klimasystem, deren Überschreiten nicht umkehrbare Veränderungen nach sich ziehen – eine starke Rolle spielen. Die betroffenen Teile des Klima- und Ökosystems werden als Kippelemente bezeichnet.

Beispiele hierfür sind: die Abschwächung der Nordatlantik-Zirkulation („Golfstrom“), das



Abschmelzen der Eisschilde auf Grönland und der Antarktis, die zunehmende Freisetzung enormer Methanmengen aus den Permafrostregionen und das großflächige Absterben des Amazonas-Regenwaldes.

Auch wenn solche Veränderungen grundsätzlich möglich sind, lässt sich schwer abschätzen, wann und wie wahrscheinlich es ist, dass diese eintreten.

Selbst eine geringe Wahrscheinlichkeit wäre bereits Grund genug umgehend zu handeln, da die Folgen eines Eintretens solcher Ereignisse gravierend sind.

Aber auch ohne das Überschreiten von Kipppunkten im Klimasystem sind die Auswirkungen einer fortgesetzten Emission von Treibhausgasen dramatisch.

Warum der Klimawandel anders ist als andere Umweltprobleme

Während viele frühere Umweltprobleme, wie der saure Regen in den 1980er und 1990er Jahren, durch verschärfte Regeln zur Luftreinhaltung gelöst werden konnten, ist dies beim Klimawandel nicht so einfach möglich. CO₂ sammelt sich in der Atmosphäre, dem Erdboden und den Ozeanen an und verbleibt dort für Jahrzehnte bis Jahrtausende. Selbst wenn die weltweiten CO₂-Emissionen sofort gestoppt würden, würde die durch die bisherigen Emissionen verursachte Erwärmung noch über Generationen bestehen bleiben. [29] Dem menschengemachten Klimawandel lässt sich somit eine „Kohlenstoffschuld“ zuordnen. Aus historischer Sicht stehen insbesondere westliche Industriestaaten, zu denen auch Deutschland zählt, bereits heute in der Schuld, Kohlenstoff aktiv aus der Atmosphäre entnehmen zu müssen.

Negative Treibhausgasemissionen

Praktisch alle gängigen Szenarien [19], die eine Erwärmung unter 2 Grad ermöglichen, setzen in erheblichem Umfang die Entnahme von CO₂ – Carbon Dioxide Removal (CDR) – auch negative Treibhausgasemissionen genannt, voraus. Dazu gehört insbesondere die natürliche Einlagerung und langfristige Speicherung von organischen Kohlenstoffverbindungen aus Biomasse, z. B. durch Humusaufbau, Renaturierung und Wiedervernässung von Mooren, Aufforstung von Wäldern und Vegetation in Wüstenrandgebieten sowie die Pyrolyse und anschließende Einlagerung der dabei entstehenden Holzkohle. Gleichzeitig müssen kohlenstoffbindende Ökosysteme geschützt werden und verstärkt biogene Baustoffe (Holz, Faserverbundstoffe, Dämmplatten etc.) weiterentwickelt und verbaut werden.

Andere Maßnahmen wie das Herausfiltern von CO₂ aus der Atmosphäre inklusive seiner Speicherung und Nutzung (Carbon dioxide Capture and Storage – CCS, Carbon Capture and Usage – CCU) benötigen, verglichen mit dem biologischen Pfad, mehr Energie und technischen Aufwand, für die Entnahme, Verflüssigung, den Transport, das Verpressen und die Weiterverarbeitung des CO₂. Methoden, die CO₂ nicht langfristig binden, wie das Verpressen in Bohrlöcher bei der Gewinnung von Erdöl und Erdgas, sind nicht zu CDR Maßnahmen zu rechnen. [30] CCU dient in einer CO₂-neutralen Kreislaufwirtschaft dazu, den industriellen Bedarf an Kohlenstoff zu decken,



ohne auf fossile Quellen zurückzugreifen. Ob Verfahren wie die direkte Entnahme von CO₂ aus der Luft (**Direct Air Capture CCS** – DACCS) in ausreichendem Maße bereitgestellt werden können, ist derzeit nicht abschätzbar. Um klimarelevant zu sein, müssten diese Technologien auf mehrere 10 Gigatonnen CO₂ pro Jahr hochskaliert werden und jedes Jahr geeignete Speicherstätten in der gleichen Größenordnung erschlossen werden. Dass künftige Generationen mit neuartigen, industriellen Lösungen diese Aufgabe in den kommenden Jahrzehnten in den Griff bekommen werden, ist nicht abzusehen.[I]

Ähnliches gilt auch für andere Ansätze zum Geoengineering wie etwa das sogenannte **Solar Radiation Management**, die Reduktion der Sonneneinstrahlung etwa durch das Ausbringen von Aerosolen in die Atmosphäre. Solche Methoden sind oft nicht auf eine klimarelevante Größenordnung hochskalierbar oder haben direkte schädliche Auswirkungen auf die Umwelt. Andere Geoengineering-Methoden haben noch nicht absehbare Folgen auf die globalen Wetter und Ökosysteme, sowie die Agrarproduktion, einhergehend mit einem massiven Konfliktpotential zwischen verschiedenen Akteuren. Grundsätzlich sollten daher im Geoengineering keine Maßnahmen ergriffen werden, deren Folgen sich nicht abschätzen lassen.

Weitere Forschung und Entwicklung zum CDR sowie deren Transfer in die Anwendung sind zur Begrenzung der globalen Erwärmung unabdingbar, bevor solche Technologien in großem Maßstab umgesetzt und mit öffentlichen Mitteln subventioniert werden. **Eine Alternative zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bildet CDR allerdings nicht.**[30]

Folgen des fossilen Zeitalters – Kosten und Gesundheitsrisiken

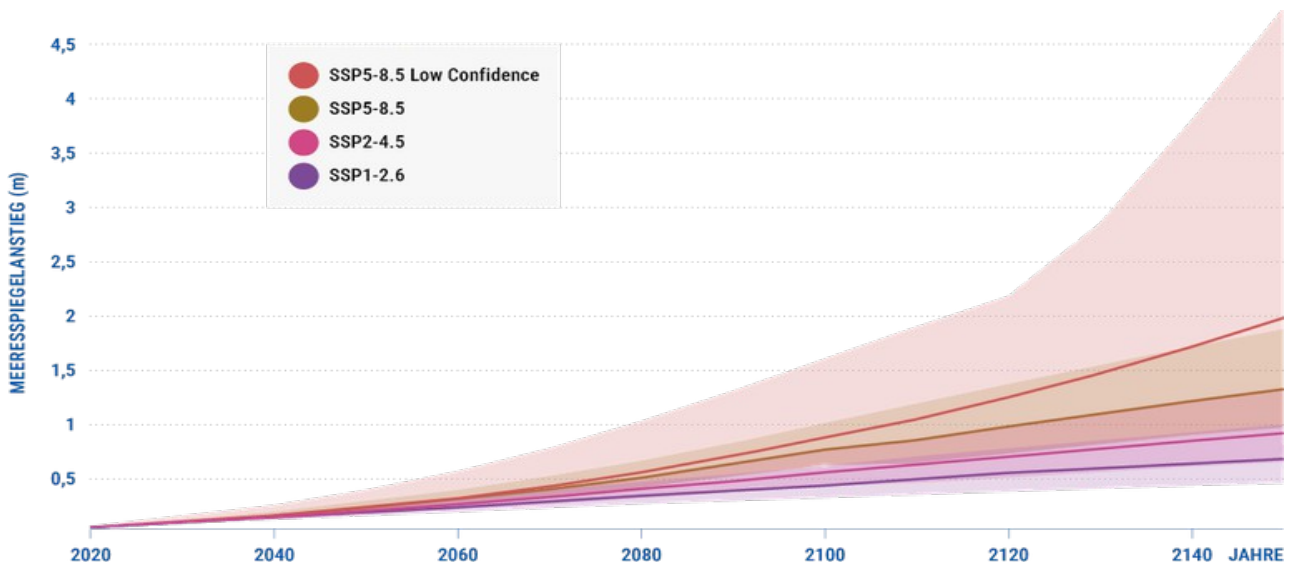
Je nachdem wie stark die globale Erwärmung voranschreitet, werden die klimawandelbedingten, volkswirtschaftlichen Schäden in Deutschland bereits bis zum Jahre 2050 auf insgesamt bis zu 900 Mrd. Euro geschätzt.[31] Auch mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen lassen sich die zu erwartenden Schäden einer starken globalen Erwärmung nur noch teilweise vermeiden. Darüber hinaus gibt es **Grenzen der Anpassung, die laut IPCC bereits bei einer Überschreitung von 1,5 Grad Erwärmung** erreicht werden. [32] Die Zahl hitzebedingter Krankheits- und Todesfälle in Europa wird in einer 3 Grad wärmeren Welt noch deutlich höher liegen als heute und die Gesundheitssysteme an ihre Belastungsgrenzen bringen.[33] Bereits heute haben Hitzewellen fatale Folgen, insbesondere für Ältere, Kranke und Schwangere. Eine in der Zeitschrift The Lancet im Oktober 2024 veröffentlichte Metastudie [34] unterstreicht dies mit folgenden Feststellungen:

- 2023 lag die Zahl der hitzebedingten Todesfälle bei den über 65-jährigen weltweit um 167 Prozent über dem Niveau der 1990er. Allein durch demografische Veränderungen, also die alternde Weltbevölkerung, wäre ein Anstieg der hitzebedingten Todesfälle um lediglich 65 Prozent zu erwarten gewesen.
- 2023 waren die Menschen weltweit im Durchschnitt 50 Tage häufiger gesundheitsgefährdenden Temperaturen ausgesetzt, als dies ohne die globale Erwärmung zu erwarten gewesen wäre.



- Hitze beeinflusst zunehmend die körperliche Aktivität und die Schlafqualität; Hitzestress führte 2023 zu sechs Prozent mehr schlaflosen Stunden (weltweiter Durchschnitt).
- Auf mehr als der Hälfte der Landfläche der Erde haben Menschen eine Zunahme von Extremniederschlag und Trockenheit erfahren.
- Veränderungen im Niederschlag und höhere Temperaturen begünstigen Infektionskrankheiten wie etwa Dengue Fieber, Malaria, West-Nil-Virus und Vibrose.
- Extremwetterereignisse verursachten 2019 bis 2023 weltweit ökonomische Schäden von über 200 Mrd. Euro, was einer Zunahme von 23 Prozent gegenüber dem Zeitraum 2010 bis 2014 entspricht.
- Zusätzlich kam es durch Hitzebelastung zu einem weltweiten Verlust von 512 Milliarden Arbeitsstunden im Wert von etwa 800 Milliarden Euro.
- Es ist möglich, dass schon dieses Jahr in tropischen Regionen erstmals Kombinationen von Feuchtigkeit und Hitze auftreten, bei der ein Überleben an der Luft nicht mehr möglich ist, da sowohl das körpereigene Kühlungssystem versagt als auch Kondensation in der Lunge auftritt.

Eine weitere, bereits heute sichtbare Folge der globalen Erwärmung ist die wachsende Zahl von Menschen, die aufgrund extremer Wetterereignisse wie Dürren, Überschwemmungen und dem Rückgang der Biodiversität ihre Heimat verlassen müssen. Prognosen zufolge könnte bis 2050 die Nahrungsmittelproduktion um 6 bis 14 Prozent sinken und dadurch könnten zusätzlich weitere 556 Millionen bis 1,36 Milliarden Menschen von „schwerer Ernährungsunsicherheit“ betroffen sein.[35] Die Ausdehnung von durch extreme Hitze unbewohnbaren Gebieten wird bis 2070 schätzungsweise 1 bis 3 Milliarden Menschen betreffen.[36,37] Zudem sind bis Mitte des Jahrhunderts etwa 1 Milliarde Menschen vom erwarteten Anstieg des Meeresspiegels unmittelbar betroffen und müssen dadurch womöglich ihre derzeitigen Wohnorte verlassen.[38]



Die Abbildung zeigt den durchschnittlichen globalen Meeresspiegelanstieg in Metern über die kommenden Jahrzehnte für verschiedene SSP-Szenarien. Die Linien stellen den mittleren Wert dar und der farbige Bereich markiert einen 66% Wahrscheinlichkeitsbereich.



SSP1-2.6 - die in Paris vereinbarte 2 Grad-Grenze wird wahrscheinlich eingehalten. Dieses setzt ambitionierten Klimaschutz und erhebliche negative Emissionen gegen Ende des Jahrhunderts voraus. SSP2-4.5 - Szenario bei dem alle Länder ihre erklärten Klimaschutz-Ziele einhalten, Erwärmung liegt im Mittel bei 2,7 Grad. SSP5-8.5 - „business-as-usual“ oder „weiter-wie-bisher“ Szenario, Worst-Case Szenario für den Klimaschutz. Der Meeresspiegelanstieg wird in diesen 3 Szenarien mit vielen verschiedenen Klimamodellen abgeschätzt.

Das Szenario SSP5-8.5 „Low Confidence“ bezieht unter dem SSP5-8.5 Emissions-Szenario Prozesse mit ein, die im Moment noch unzureichend erforscht sind (Instabilitäten im Eis in der Antarktis und in Grönland könnten den Meeresspiegelanstieg erheblich beschleunigen[II]). Die meisten Klimamodelle berücksichtigen diese Prozesse noch nicht. Abbildung adaptiert vom NASA Sea Level Projection Tool [III] © DPG / Gehlen

Damit wird der fortschreitende Klimawandel und der damit verbundene Verlust der Lebensgrundlage ein zunehmend großer Risikofaktor für verstärkte soziale und wirtschaftliche Ungleichheiten. Ebenso wird der Klimawandel als Fluchtursache immer wahrscheinlicher. [39]

Wege aus der Nutzung fossiler Energieträger

Seit 1971 und 1987, als die letzten Klimaaufrufe von DPG und DMG veröffentlicht wurden, wurde der Weg hin zu einer Wirtschaft ohne Treibhausgasemissionen immer besser entwickelt und in zahlreichen globalen Studien (z. B. [40]), aber auch für Deutschland [41] beschrieben. Die Wege, um den weiteren Anstieg der globalen Temperaturen zu begrenzen, sind somit bekannt. Es besteht allerdings noch Optimierungs- und Umsetzungsbedarf im Hinblick auf den wirtschaftlich günstigsten und sozialverträglichen Weg zum Erreichen dieses Zieles.

Eine schnelle und umfangreiche Transformation hin zu einer fossilfreien Energiewirtschaft ist dringend erforderlich, um die Folgen der globalen Erwärmung auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Die Förderung fossiler Energieträger und auch deren stoffliche Nutzung muss aus wissenschaftlicher Sicht umgehend drastisch reduziert werden, im Idealfall bis zum vollständigen Verzicht auf fossile Roh- und Energiestoffe.

Ein wichtiger Ansatzpunkt für deren Ersatz ist die Umwandlung regenerativer Energieformen wie beispielsweise Solarenergie in elektrische Energie, die durch ihre höhere Exergie einen höheren Nutzwert bereitstellt. Strombasierte Energiesysteme lassen sich vielfältig nutzen, etwa mithilfe von Wärmepumpen oder elektrischer Antriebe; sie setzen aber einen konsequenten und zügigen Ausbau der erforderlichen Infrastruktur voraus.

Dazu zählen einerseits Primärenergieanlagen wie Wind- und Solarkraftwerke, Strom-Transportnetze, Energiespeichersysteme sowie ein integriertes Systemdesign. Derzeit ist die erforderliche Ausbaugeschwindigkeit der Infrastruktur zumeist deutlich zu gering, um in den kommenden Dekaden den Umstieg in eine erneuerbare Energieversorgung in Übereinstimmung mit den Klimazielen zu erreichen.



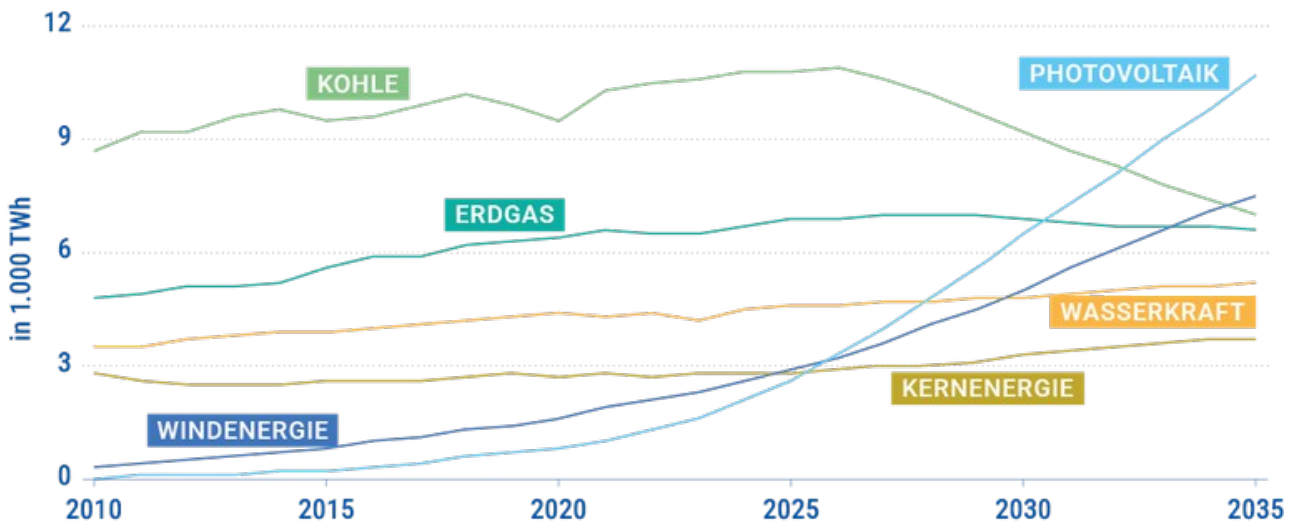
Die Transformation des Energiesystems sollte aus Gründen der **nationalen Sicherheit** auf eine dezentrale Erzeugung von Energie und autarke Strukturen setzen. Diese stellen für den Verteidigungsfall ein sehr viel höheres Maß an Sicherheit dar als zentrale Energieerzeugungsstrukturen.

Technologien zur nicht-fossilen Energienutzung

Vielfältige Technologien zur nicht-fossilen Energienutzung sind Stand der Technik und tragen schon heute wesentlich zur Versorgung von Wirtschaft und privaten Haushalten bei. Beim erforderlichen weiteren Ausbau ist die jeweilige lokale und regionale Versorgungslage zu berücksichtigen, insbesondere im Hinblick auf Verfügbarkeit, Sonneneinstrahlung, Wettergeschehen, Geografie, Landnutzung, Wirtschaftlichkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz. Für die notwendige Transformation hin zu einer fossil-freien Energiewirtschaft ist das nächste Jahrzehnt besonders relevant.

Der World Energy Outlook 2024 [42] der International Energy Agency (IEA) gibt Aufschluss über die für diesen Zeitraum prognostizierte Entwicklung bei der weltweiten jährlichen Erzeugung von elektrischer Energie, aufgeschlüsselt nach Technologien.

Demnach liegen Ende 2025 Solar-, Wind- und Kernenergie alle fast gleichauf bei jeweils ca. 3000 TWh (Terawattstunden) und Energie aus Wasserkraft bei 4600 TWh. Für 2035 erreichen die prognostizierten Werte für Solarenergie 10700 TWh, für Windenergie 7500 TWh, für Wasserkraft 5200 TWh und für Kernenergie 3700 TWh. Die erwartete weltweite Steigerungsrate für Solarenergie liegt demnach etwa zehnmal höher als die für Kernenergie. Solarenergie ist bereits heute in fast allen Ländern weltweit die günstigste Energiequelle[43] und daher ist die aktuelle Steigerungsrate oft noch größer als zunächst vermutet.



Prognostizierte weltweite Stromerzeugung (in 1000 TWh) im Szenario „Stated Policies“, 2010-2035 [42]

Im Folgenden werden stichwortartig Hinweise auf technische Lösungen gegeben, ohne jedoch einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:



a. Solarenergie

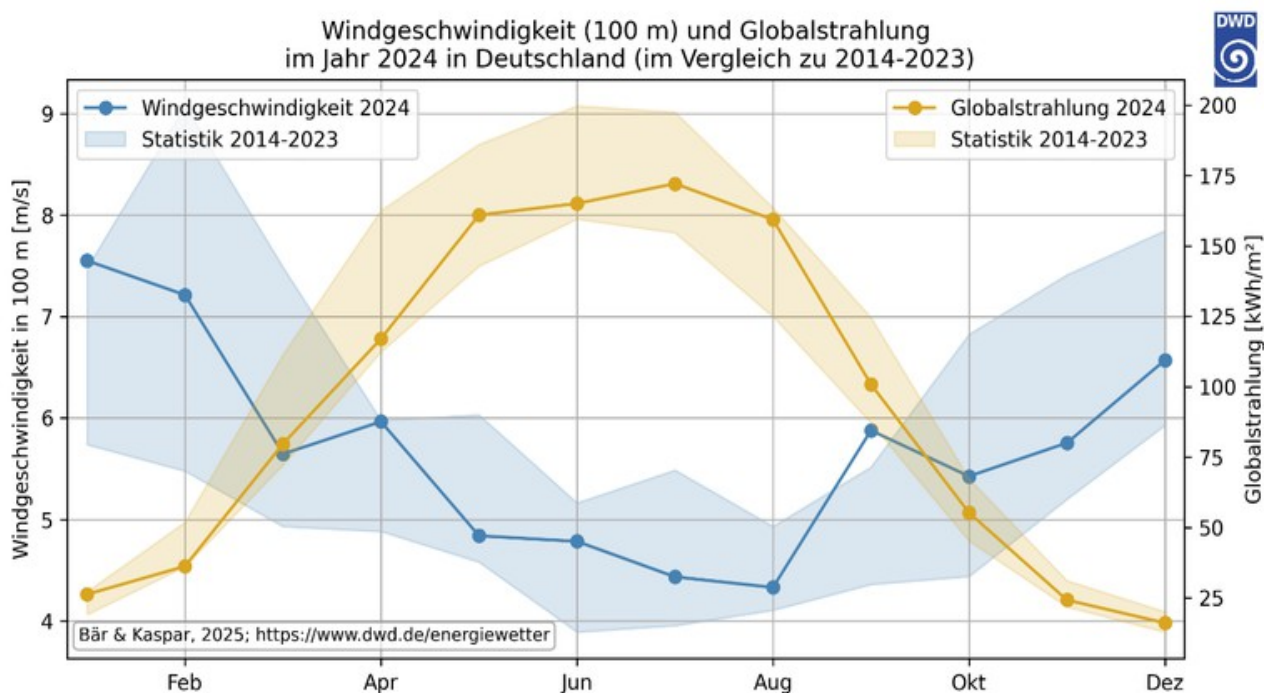
Photovoltaik (PV) ist eine erfolgreiche Technologie zur Stromproduktion, die auch in Deutschland sehr preisgünstig verfügbar ist. Sie lässt sich mit anderen Landnutzungsformen, z. B. mit Gebäuden, Parkplätzen oder Straßen, Beweidung oder Gemüse- und Obstanbau kombinieren. Sie wird ergänzt durch solarthermische Nutzungen insbesondere im Bereich der Warmwassererzeugung.

Da die Sonneneinstrahlung nachts gar nicht und tagsüber witterungsbedingt unterschiedlich intensiv genutzt werden kann, ist eine Kombination mit anderen erneuerbaren Energieträgern und Technologien zur Energiespeicherung unerlässlich, auch um Zeiten der Spitzenproduktion mit Dunkelphasen auszugleichen.

Die kombinierte Nutzung verschiedener Arten von regenerativer Energie reduziert dabei den theoretischen Speicherbedarf.[44]

b. Windenergie

Windenergie wird insbesondere in solchen Regionen genutzt, in denen die witterungsbedingten Verhältnisse eine hohe Ausbeute an elektrischem Strom ermöglichen; in manchen Regionen ermöglicht sie die preiswerteste Stromproduktion. In Mitteleuropa ergänzen sich Windenergie (Maximum im Winter) und Sonnenenergie (Maximum im Sommer) saisonal und mindern daher in ihrer Kombination den Speicherbedarf, vor allem in einem europäischen Stromverbund.[44]



Sonneneinstrahlung und Wind in Deutschland im Verlauf des Jahres (am Beispiel 2024, sowie den zehn Jahren zuvor) © Deutscher Wetterdienst CC-BY-4.0 [V]



c. Wasserkraft

Wasserkraft ist eine weltweit schon seit Jahrhunderten erfolgreich genutzte Form regenerativer Energieerzeugung, wobei man Laufwasserkraftwerke von Speicherkraftwerken unterscheiden muss.

Ihr Potential wird weitgehend durch die geographischen Gegebenheiten einer Region bestimmt. In Deutschland erscheint aus heutiger Sicht das Ausbaupotential der regenerativen Wasserkraft weitgehend erschöpft. Ehemalige Tagebaugruben bieten jedoch theoretisch das Potenzial zur Energiespeicherung in Form von Pumpspeichern.

d. Bioenergie

Bioenergie ist als Sammelbezeichnung für alle Formen der Nutzung von Biomasse zu regenerativen Energiezwecken gebräuchlich. Der in der Pflanze durch Photosynthese eingebaute Kohlenstoff wird energietechnisch genutzt und ersetzt damit fossil gewonnenen Kohlenstoff. Bioenergie wird derzeit als grundlastfähige Energieform sowohl in der Strom wie auch in der Wärmeproduktion eingesetzt. Problematische Nebenwirkungen sind jedoch die Flächenkonkurrenz mit landwirtschaftlichen oder anderen energiewirtschaftlichen Nutzungsformen, hohe Treibhausgasemissionen (Lachgas) bei der Erzeugung oder Schadstoffemissionen bei der Verbrennung.

Durch den geringeren Wirkungsgrad der Photosynthese im Vergleich zu anderen regenerativen Energieformen ist der Anteil der Bioenergie im Energiemix zumindest regional begrenzt.

e. Geothermie

Geothermie gehört ebenfalls zu den grundlastfähigen Formen der Energienutzung und macht sie daher zu einem wichtigen regenerativen Energieträger. Zu unterscheiden sind dabei die oberflächennahe und die tiefe Geothermie. Erstere wird in aller Regel zur Wärmeversorgung von Gebäuden genutzt, letztere mit einem Temperaturniveau von mehr als 140 Grad auch als Prozesswärme oder zur Stromproduktion. Oberflächennahe Geothermie kann in Verbindung mit Wärmepumpen eine kostengünstige Alternative zum Heizen darstellen.

Physikalisch gesehen handelt es sich bei dieser Form der „Geothermie“ nicht um Wärme aus dem Erdinneren, sondern um Solarwärme, die im Erdreich in den Sommermonaten gespeichert wird.

f. Meeresenergie

Das Potential der Meere als erneuerbare Energiequelle unter Nutzung von Meeresströmungen, Wellen, Gezeiten, Temperaturgradienten in großen Meerestiefen und Salzgradienten an Flussmündungen ist immens, ebenso wie die Nutzung der Meere als Speichermedium für Pumpspeicherwerke.



Gezeiten-, Wellen- und Meeresströmungskraftwerke sind heute schon im Einsatz, die technische Umsetzung im großen Maßstab sollte verstärkt in den Fokus genommen werden.

g. Kernenergie

Kernspaltungs- und langfristig gesehen möglicherweise auch Kernfusionskraftwerke könnten prinzipiell zu einer fossilfreien Stromerzeugung beitragen. Auch neuere Konzepte in der Kerntechnik, die der Generation 4 zugerechnet werden, oder kleine, modulare in Serie gefertigte Reaktoren werden derzeit erforscht und entwickelt. Bei der Bewertung der Kernspaltungsreaktortechnik müssen Risiken und Chancen gegeneinander abgewogen werden, etwa im Hinblick auf Betriebssicherheit und Terrorgefahr, Kosten und Wirtschaftlichkeit sowie radioaktive kerntechnische Abfälle und deren Endlagerung. Bei der Kernfusion ist aufgrund der bisher fehlenden technischen Umsetzbarkeit weiterhin intensive Grundlagenforschung im Bereich der Plasmaphysik, der Materialforschung und der Produktion von radioaktivem Tritium zum Betrieb der Kraftwerke durchzuführen, bevor eine industrielle Nutzung in Betracht kommt. Da der zeitliche Horizont bis zur kommerziellen Stromproduktion derzeit noch auf 30 bis 50 Jahre geschätzt wird, spielt die Kernfusion für aktuelle Beiträge zur fossilfreien Energiewirtschaft noch keine Rolle. Technologien zur Kernfusion stehen vor dem Hintergrund der Dringlichkeit des Handelns für die Begrenzung der globalen Erwärmung noch nicht zur Verfügung, aber die Forschung und Entwicklung dazu sollten als Langfristoption weiterhin vorangebracht und gefördert werden.

Stromspeicher- und Netztechnologien

Bei der elektrischen Energieversorgung spielen Netz- und Speichertechnologien eine herausragende Rolle. Da sowohl die regenerative Stromerzeugung als auch die Stromnachfrage täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen, kommt dem Ausbau digitaler und KI-basierter Regelungstechnik im Stromnetz eine besondere Bedeutung zu. In diesem Kontext der nicht-grundlastfähigen Energieformen spielt die Speicherkapazität eine wesentliche Rolle.

Kurzfristige Speicher basieren auf leistungsfähigen Batteriesystemen sowie Pumpspeichern. Für die langfristige Stromspeicherung kommt je nach Anwendungsgebiet der Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse sowie Eisen/ Eisenoxid-Speichern eine Schlüsselrolle zu. Neuartige Pumpspeicherkraftwerke mit Ringmauern oder Unterwasserkugeln nutzen nur ein Speicherbecken und könnten deshalb in tiefen Seen, insbesondere in ehemaligen Braunkohlegruben, als wahrscheinlich effiziente und großvolumige Stromspeicher eingesetzt werden.

Energieeinsparung

Neben der Transformation zur fossilfreien Energiewirtschaft ist es unverzichtbar, den Energieverbrauch zu reduzieren (Abb. Z.1e [41]). Trotz teilweise erheblicher



Effizienzsteigerungen, Innovationen und Einsparungen ist jedoch der Endenergieverbrauch in Deutschland seit 1990 im Wesentlichen gleichgeblieben. Dies liegt einerseits am Wirtschaftswachstum und andererseits an zahlreichen, sogenannten Rebound-Effekten. Eine Senkung des Energieverbrauchs setzt einerseits eine weitere Effizienzsteigerung voraus, bedeutet andererseits aber eine Verringerung, wenigstens keine weitere Steigerung, von Produktion und Konsum, die von der Gesellschaft mitgetragen wird. Strombasierte Technologien (z. B. Elektrofahrzeuge oder Wärmepumpen) haben im Vergleich zu thermodynamischen Energiewandlern prinzipiell den Vorteil, den Energieverbrauch insgesamt zu senken.

Fazit

Bei den globalen Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sind hochentwickelte Industrieländer und somit auch die Europäische Union und ihre Mitgliedsländer, auch Deutschland, überproportional stark gefordert.

Auch, weil sie aus historischer Sicht für einen Großteil der bisherigen anthropogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Eine zukünftige starke globale Erwärmung kann dazu führen, dass nicht nur Deutschland finanziell, gesellschaftlich und technologisch seine Fähigkeiten verliert, die Gesundheit und das Leben der Menschen durch Anpassungsmaßnahmen hinreichend zu schützen.

Die durch Treibhausgase bedingten klimatischen Veränderungen sind nicht abrupt, sondern zeigen sich allmählich über Jahrzehnte hinweg.

Dennoch werden sie mittlerweile immer spürbarer. Die menschengemachte globale Erwärmung ist eine reale Gefahr für den Fortbestand der menschlichen Zivilisation.

Der Kampf gegen die globale Erderwärmung erfordert eine konsequente Minderung aller Treibhausgasemissionen und die engagierte internationale Zusammenarbeit, um den notwendigen Übergang zu einer emissionsfreien Wirtschaft mit höchster Priorität voranzutreiben.

Wissenschaftliche Erkenntnisse, also Fakten, sind die Basis für das politische und gesellschaftliche Handeln, um den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen. Dafür bedarf es eines freien und mit rationalen Argumenten geführten wissenschaftlichen Diskurses, demokratischer Strukturen und eines konsequenten Eintretens gegen Falschinformationen (Fake-News). Internationale Kontakte von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in einer globalen, pluralen Welt fördern Forschung und Entwicklung. Globale Probleme können nur global angegangen werden. Nicht zuletzt hat aber jeder Mensch selbst die Möglichkeit, zu einer lebenswerten Zukunft beizutragen, sich der eigenen Verantwortung für den Klimaschutz bewusst zu sein, die erforderlichen Maßnahmen zu unterstützen und einzufordern. Klimaschutz ist nicht nur eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, sondern betrifft auch jeden Einzelnen.

Die **Deutsche Meteorologische Gesellschaft e. V. (DMG)** und die **Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG)** wenden sich mit dem nachfolgenden Aufruf



gemeinsam an die Öffentlichkeit. Die Gesellschaften fordern dazu auf, unverzüglich ein sehr viel wirksameres Programm zur Eindämmung von menschengemachten Klimaänderungen voranzutreiben und die hierfür notwendigen Maßnahmen nicht weiter in die Zukunft zu verschieben.

Wir rufen daher alle politischen Akteurinnen und Akteure in Deutschland auf

- 1....** sich der realen Gefährdungslage durch die fortschreitende menschengemachte globale Erwärmung und der Dringlichkeit des Handelns bewusst zu werden.
- 2....** auf der Basis des bisher erreichten Entscheidungen für eine weitere und drastische Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen zu treffen, insbesondere bei der Energieerzeugung, der Mobilität, der industriellen Produktion, dem Bauen und der Landwirtschaft.
- 3....** in internationalen Verhandlungen konsequent für eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen unter Einhaltung der Vorgaben des Pariser Klimaabkommens einzutreten.
- 4....** die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so zu verändern, dass die Vermeidung von Treibhausgasemissionen deutlich attraktiver wird.
- 5....** Anreize so zu gestalten, dass emissionsarme Produkte und Dienstleistungen günstiger sind als emissionsstärkere.
- 6....** Voraussetzungen zu schaffen, um treibhausgasemissionsfreie Prozesse anzuwenden und die benötigten Verfahren sowie Anlagen für eine sparsame und effiziente Energienutzung weiterzuentwickeln.
- 7....** im Naturschutz verstärkt Maßnahmen zu fördern, bei denen CO₂-Speicherung durch Aufforstung, den Schutz und die Wiederherstellung von Mooren sowie die langfristige Nutzung von Holz als Baustoff stattfindet.
- 8....** notwendige Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen der globalen Erwärmung so zu planen, dass sie nach Möglichkeit gleichzeitig auch



dem Klimaschutz dienen.

9.... den Rückzug aus tiefer liegenden Küstenregionen an Nord- und Ostsee zu diskutieren.

10.... die wissenschaftsbasierte Information der Gesellschaft sicherzustellen.

An der Abfassung dieses Aufrufs waren beteiligt:

Frank Böttcher^{1,2}, Michael Düren², Stefan Emeis¹, Stefanie Falk², Guido Halbig^{1,2}, Frank Kaspar^{1,2}, Michaela Lemmer², Franka Neumann², Klaus Richter², Gunther Seckmeyer^{1,2} und Karl-Friedrich Ziegahn².

¹ Deutsche Meteorologische Gesellschaft (DMG) | ² Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)

Folgende Vereinigungen und Fachausschüsse haben an der Erstellung mitgewirkt:

DMG: Fachausschuss Klimakommunikation, junge DMG

DPG: Fachverband Umweltphysik, Arbeitskreis Energie, Arbeitskreis junge DPG

Der Aufruf wird an alle Mitglieder des deutschen Bundestags, weitere Politikerinnen und Politiker, Journalistinnen und Journalisten, Vertreter:innen der Wirtschaft sowie an die Mitglieder der DMG und der DPG geschickt.

Verabschiedet von der DMG am 20. Juni 2025

Beschlossen vom DPG-Vorstandsrat in seiner Sitzung vom 14. Juni 2025

Literaturverzeichnis

- [0] <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/stellungnahmen-der-dpg/klima-energie/warnung-vor-drohenden-weltweiten-klimaaenderungen-durch-den-menschen>
- [1] Sachverständigenrat für Umweltfragen
„Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa“
https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [2] United Nations Environment Programme (2024)
Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/46404>
- [3] Stellungnahme des Sachverständigenrats für Umweltfragen
"Wo stehen wir beim CO2-Budget? Eine Aktualisierung" vom 25.03.2024
https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_CO2_Budget.html
- [4] siehe Abbildung SPM4 in:



IPCC (2021), Assessment Report 6, Working Group 1, The Physical Science Basis, Summary for Policymakers
[https:// dx.doi.org/10.1017/9781009157896.001](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.001)

- [5] Beschluss des BVG
vom 24. März 2021 - 1 BvR 2656/18, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20, 1 BvR 288/20
- [6] Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
Art. 143h, (1), Satz 1 in der Fassung vom 22.03.2025
- Veröffentlichungen zu vergangenen Temperaturschwankungen:
- a. In den letzten 2 Millionen Jahren:
Snyder, C. W. (2016)
Evolution of global temperature over the past two million years
Nature, 538(7624), 226–228.
<https://doi.org/10.1038/nature19798>
- [7] b. im Holozän:
Osman et al. (2021)
Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum
Nature, 599(7884), 239–244.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03984-4>
- c. in den letzten 2000 Jahren:
PAGES 2k Consortium (2019)
Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era
Nature Geoscience, 12(8), 643–649.
<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>
- [8] Friedlingstein et al. (2024)
Global Carbon Budget 2024
Earth System Science Data Discussions, 1-133
<https://doi.org/10.5194/essd-2024-519>
- [9] Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning
Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements.
Version Tuesday, 05-Aug-2025 15:05:29 MDT
[https:// doi.org/10.15138/9N0H-ZH07](https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07)
- siehe Abschnitt A4 in IPCC (2021)
Assessment Report 6, Working Group 1, The Physical Science Basis, Summary for Policymakers
[https:// dx.doi.org/10.1017/9781009157896.001](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.001)
- [10] Primärquelle:
Sherwood et al. (2020)
An Assessment of Earth's Climate Sensitivity Using Multiple Lines of Evidence
Reviews of Geophysics, 58(4), e2019RG000678
[https:// doi.org/10.1029/2019RG000678](https://doi.org/10.1029/2019RG000678)
- Hinweise für eine Unterschätzung der Klimasensitivität im letzten IPCC-Bericht:
- a. Witkowski et al. (2024)
Continuous sterane and phytane $\delta^{13}\text{C}$ record reveals a substantial pCO₂ decline since the mid-Miocene
Nature Communications, 15(1), 5192
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-47676-9>
- [11] b. Goessling et al. (2024)
Recent global temperature surge intensified by record-low planetary albedo
Science
<https://doi.org/10.1126/science.adq7280>
- c. Hansen et al. (2023)
Global warming in the pipeline
Oxford Open Climate Change, 3(1), kgad008
<https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>
- [12] Tabelle 7.15 (Global Warming Potentials, GWP-100) in
IPCC (2021), Assessment Report 6, Working Group 1, The Physical Science Basis, Chapter 7: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity



- [https:// dx.doi.org/10.1017/9781009157896.009](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.009)
- siehe u.a. Box 5.1. in
- [13] IPCC (2021), Assessment Report 6, Working Group 1, The Physical Science Basis, Chapter 5, Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks.
[https:// dx.doi.org/10.1017/9781009157896.007](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.007)
- [14] Menegat et al. (2022)
Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. Scientific Reports, 12(1), 14490.
<https://doi.org/10.1038/ s41598-022-18773-w>
- [15] siehe Tabelle 7.5 in
IPCC (2021), Assessment Report 6, Working Group 1, The Physical Science Basis, Chapter 7: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity
[https:// dx.doi.org/10.1017/9781009157896.009](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.009)
- siehe u.a.
- a. Abas et al. (2018)
Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review
Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 557–569
<https://doi.org/10.1016/ j.rser.2018.03.099>
- [16] b. Harby, K. (2017)
Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated over-view
Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 1247–1264
<https://doi.org/10.1016/ j.rser.2017.02.039>
- c. Purohit et al. (2022)
The key role of propane in a sustainable cooling sector
Proceedings of the National Academy of Sciences, 119(34), e2206131119
<https://doi.org/10.1073/ pnas.2206131119>
- [17] Helge F. Goessling et al.
Recent global temperature surge intensified by record low planetary albedo
Science 387, 68–73 (2025)
<https://doi.org/10.1126/ science.adq7280>
- [18] Copernicus Climate Change Services, European State of the Climate 2023, Sea surface temperatures
[https:// climate.copernicus.eu/esotc/2023/sea- surface-temperature](https://climate.copernicus.eu/esotc/2023/sea-surface-temperature) – abgerufen am 21.12.24
- Kapitel 4 im IPCC-AR6-WGI:
Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021:
Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]
Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–672
[https:// doi.org/10.1017/9781009157896.006](https://doi.org/10.1017/9781009157896.006)
- [19]
- [20] Kaspar et al. (2023)
Observed temperature trends in Germany: Current status and communication tools
Meteorologische Zeitschrift, Vol. 32, Nr. 4
<https://doi.org/10.1127/ metz/2023/1150>
- [21] Deutscher Wetterdienst: Zeitreihen und Trends
[https:// www.dwd.de/zeitreihen](https://www.dwd.de/zeitreihen) - abgerufen am 11.5.2025
- [22] Deutscher Wetterdienst, Nationaler Klimareport
[https:// www.dwd.de/DE/leistungen/ nationaler_klimareport/report.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/ nationaler_klimareport/report.html) – abgerufen 21.12.24
- [23] ESA; [https:// www.esa.int/Applications/ Observing_the_Earth/Copernicus/ Sentinel-5P/ Unusual_ozone_hole_opens_over_the_Arctic](https://www.esa.int/Applications/ Observing_the_Earth/Copernicus/ Sentinel-5P/ Unusual_ozone_hole_opens_over_the_Arctic)
- [24] von der Gathen et al. (2021).
Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone



- Nat Commun 12, 3886
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24089-6>
- [25] Cordero, R.R., Feron, S., Damiani, A. et al.
Persistent extreme ultraviolet irradiance in Antarctica despite the ozone recovery onset
Sci Rep 12, 1266 (2022)
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-05449-8>
- [26] Friedel, M., Chiodo, G., Stenke, A. et al.
Springtime arctic ozone depletion forces northern hemisphere climate anomalies
Nat. Geosci. 15, 541–547 (2022)
<https://doi.org/10.1038/s41561-022-00974-7>
- [27] Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Ebi, K. L., Gibbins, G., Kohler, T. A., Rockström, J., Scheffer, M., Schellnhuber, H. J., Steffen, W., & Lenton, T. M. (2022)
Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios
PNAS Vol. 119, Issue 34)
<https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- [28] „The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth“
BioScience, Volume 74, Issue 12, December 2024, Pages 812–824
<https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>
- [29] Solomon et al. (2009)
Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions
Proceedings of the national academy of sciences, 106(6), 1704-1709
<https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106>
- [30] Smith, S. M., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Nemet, G. F., Minx, J. C., Buck, H., Burke, J., Cox, E., Edwards, M. R., Fuss, S., Johnstone, I., Müller-Hansen, F., Pongratz, J., Probst, B. S., Roe, S., Schenuit, F., Schulte, I., Vaughan, N. E. (eds.)
The State of Carbon Dioxide Removal 2024 - 2nd Edition
<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/F85QJ> (2024)
- [31] Flaute, M., Reuschel, S. & Stöver, B. (2022)
Volkswirtschaftliche Folgekosten durch Klimawandel: Szenarioanalyse bis 2050. Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland
GWS Research Report 2022/02, Osnabrück
<https://gws-os.com/de/publikationen/alle-publikationen/detail/volkswirtschaftliche-folgekosten-durch-klimawandel-szenarioanalyse-bis-2050>
- [32] IPCC 2018: Sonderbericht 1,5 °C globale Erwärmung
Summary for Policymakers, S. 12
<https://www.de-ipcc.de/256.php>
- [33] IPCC (2022), Assessment Report 6, Working Group 2, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Chapter 13: Europe
<https://dx.doi.org/10.1017/9781009325844.015>
- [34] Romanello et al. (2024)
The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Facing recordbreaking threats from delayed action
The Lancet, 404(10465), 1847–1896
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01822-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01822-1)
- [35] Kompas, T., Che, T.N. & Grafton, R.Q.
Global impacts of heat and water stress on food production and severe food insecurity
Sci Rep 14, 14398 (2024)
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-65274-z>
- [36] C. Xu, T.A. Kohler, T.M. Lenton, J. Svenning, & M. Scheffer
Future of the human climate niche
Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 117 (21) 11350-11355
<https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117> (2020)
- [37] Xu, C., Kohler, T. A., Lenton, T. M., Svenning, J. C., & Scheffer, M. (2020)
Future of the human climate niche
Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(21), 11350-11355
<https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>



- Pörtner, H.-O., et al., 2022: Technical Summary. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)].
In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]
Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118
<https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- [38] Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]
Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118
<https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- [39] Sachverständigenrat für Integration und Migration (SVR) gGmbH, Jahresbericht 2023.
<https://www.svr-migration.de/publikationen/jahresbericht/jahresbericht-2023/>
- Ram et al. (2019)
Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Power, Heat, Transport and Desalination Sectors
Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin, March 2019. ISSN: 2243-3376
- [40] https://energywatchgroup.org/wp/wp-content/uploads/2023/12/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf –
abgerufen am 20.12.24
Aufbereitete Zusammenfassung der Ergebnisse:
https://handbuch-klimaschutz.de/assets/pdf/Anlage-06_Auswertung-der-LUT-Studie.pdf
- Kopernikus-Projekt Ariadne (2021)
Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich
<https://doi.org/10.48485/pik.2021.006>
- [41] <https://doi.org/10.48485/pik.2021.006>
- [42] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-generation-in-the-stated-policies-scenario-2010-2035> -
erschienen in: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- Nijssse, F.J.M.M., Mercure, JF, Ameli, N. et al.
The momentum of the solar energy transition
Nat Commun 14, 6542 (2023)
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-41971-7>
- [43] <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41971-7>
- Kaspar et al. (2019)
A climatological assessment of balancing effects and shortfall risks of photovoltaics and wind energy in Germany and Europe
Advances in Science and Research, Volume 16
<https://doi.org/10.5194/asr-16-119-2019>
- [44] <https://doi.org/10.5194/asr-16-119-2019>

Weitere Publikationen zu diesem Thema (Version vom 29.01.2026)

- [I] Mark Z. Jacobson, Danning Fu, Daniel J. Sambor, and Andreas Mühlbauer
Environmental Science & Technology 2025 59 (6), 3034-3045
DOI: 10.1021/acs.est.4c10686 verfügbar über die webpage:
<https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/149Country/149-Countries.pdf>
- [II] DeConto, Robert M., et al.
„The Paris Climate Agreement and future sea-level rise from Antarctica.“
Nature 593.7857 (2021): 83-89
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03427-0>
- [III] NASA Sea Level Projection Tool - Global Projection
<https://sealevel.nasa.gov/ipccar6-sea-level-projection-tool?type=global> - abgerufen am 24.08.2025
- [IV] Inspiriert von Marcus Wadsak
https://www.linkedin.com/posts/marcus-wadsak-272971272_timetoactisnow-klimawandel-activity-7205858639495016448-A7q9/?originalSubdomain=de#
- Datenquellen:
J. D. Shakun et al.
Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation,
Nature 484, 49 (2012)
<https://doi.org/10.1038/nature10915>



Marcott et al.

A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years

Science 339, 1198 (2013)

<https://doi.org/10.1126/science.1228026>

Bär, F., Kaspar, F.

[V]

Energiewetter im Jahr 2024: Meteorologischer Jahresrückblick auf energierelevante Wetterelemente.

Deutscher Wetterdienst / BMDV-Expertenetzwerk, 2025

<https://www.dwd.de/energiewetter>

SEI, Climate Analytics, & IISD. (2025).

[VI]

The Production Gap Report 2025. Stockholm Environment Institute, Climate Analytics, and International Institute for Sustainable Development.

<https://doi.org/10.51414/sei2025.044>

James E Hansen, et al.

[VII]

Global warming in the pipeline

Oxford Open Climate Change, Volume 3, Issue 1, 2023, kgad008,

<https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>

G. Myhre, Ø. Hodnebrog, N. Loeb, P. M. Forster

[IX]

Observed trend in Earth energy imbalance may provide a constraint for low climate sensitivity model

Science 388, 1210 (2025)

<https://doi.org/10.1126/science.adt0647>

J. Infante-Amate, Emiliano Travieso, Eduardo Aguilera,

The history of a + 3 °C future:

Global and regional drivers of greenhouse gas emissions (1820–2050),

Global Environmental Change 92, 103009 (2025)

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103009>

Hinweise auf Änderungen der Albedo der Erde

Wild, M., Wang, Y., Wang, K. et al.

A Perspective on Global Dimming and Brightening Worldwide and in China.

Adv. Atmos. Sci. (2025).

<https://doi.org/10.1007/s00376-025-4534-2>

Hinweise auf erhöhte Klimasensitivität

James Hansen and Pushker Kharecha

Large Cloud Feedback Confirms High Climate Sensitivity

[https://mailchi.mp/caa/large-cloud-feedback-confirms-high-climate-sensitivity?](https://mailchi.mp/caa/large-cloud-feedback-confirms-high-climate-sensitivity?e=71069a4139&utm_source=substack&utm_medium=email)

[e=71069a4139&utm_source=substack&utm_medium=email](https://mailchi.mp/caa/large-cloud-feedback-confirms-high-climate-sensitivity?e=71069a4139&utm_source=substack&utm_medium=email)

Hinweise auf Beschleunigung des Klimawandels:

J. E. Hansen et al., (sowie die darin enthaltenen weiteren Referenzen)

Global Warming Has Accelerated: Are the United Nations and the Public Well-Informed?

Environment: Science and Policy for Sustainable Development 67, 6 (2025)

<https://doi.org/10.1080/00139157.2025.2434494>

Zu Carbon Capture

Mark Z. Jacobson, Danning Fu, Daniel J. Sambor, and Andreas Mühlbauer

Energy, Health, and Climate Costs of Carbon-Capture and Direct-Air-Capture versus 100%-Wind-Water-Solar

Climate Policies in 149 Countries

Environmental Science & Technology 2025 59 (6), 3034-3045

<https://doi.org/10.1021/acs.est.4c10686>

Stefan Rahmstorf - Mitglied des IPCC-Klimarat - vom Potsdam Institut für Klimaforschung
Klima und Wetter bei 3 Grad mehr — Eine Erde, wie wir sie nicht kennen (wollen) !

=> <https://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Klima%20und%20Wetter%20bei%203%20Grad%20mehr.pdf> <=



»3 Grad mehr«

Eine Erde, wie wir sie nicht kennen (wollen)

Wie sieht eine Welt mit 3 Grad globaler Erwärmung aus? Was bedeutet das konkret für Klima und Wetter? Klimaforscher Stefan Rahmstorf schildert in diesem Beitrag aus [»3 Grad mehr«](#) die drohenden Folgen – und macht damit deutlich, warum wir sofort entschiedene Klimaschutzmaßnahmen brauchen.



Was bedeuten 3 Grad globale Erwärmung für uns? Bislang sind wir laut Weltklimarat [1] bei 1,1 Grad Erwärmung angelangt, relativ zum späten 19. Jahrhundert (das in diesem Beitrag generell als Basisperiode verwendet wird, weil es auch die Basis für das Paris-Ziel von 1,5 Grad ist). Bereits heute sehen wir viele negative Folgen. Drei Grad Erwärmung wären fast das 3-Fache. Die Folgen wären allerdings erheblich schlimmer als nur das 3-Fache der bisherigen Auswirkungen, wie wir in diesem Beitrag sehen werden.

Eine nützliche Perspektive auf eine Erwärmung um 3 Grad liefert die Erdgeschichte. Man muss nach heutiger Kenntnis rund drei Millionen Jahre zurückgehen, bis ins Pliozän, um eine ähnlich hohe globale Temperatur zu finden. Das deutet schon darauf hin, dass große Teile der heutigen Biosphäre nicht evolutionär an eine derart warme Erde angepasst sind. Viele Arten würden sie nicht überleben. Im Pliozän lebten unsere Vorfahren, die Australopithecini, noch teils auf Bäumen.

Der globale Temperaturverlauf der letzten 20.000 Jahre seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit lässt sich dank zahlreicher Sediment und Eisbohrkerne inzwischen recht genau

: QUELLE : https://www.citizenet.net.de/kusel/2025_Gemeinsamer_Aufruf_der_DMG_und_der_DPG.pdf :

: Besuche Erwerbslosenverband Deutschland [e.V. i.Gr.] : <http://www.erwerbslosenverband.org> :
i NEU + COOL ! Betrachtungen aus dem Mülleimer der Nation = <http://www.humanearthling.org/book/ei>



rekonstruieren (Abb. 1). Die Grafik zeigt drei wichtige Dinge: (1) Schon die heutigen Temperaturen übersteigen den Erfahrungsbereich des Holozäns und damit der gesamten Zivilisationsgeschichte des Menschen, seit er die Landwirtschaft entwickelte und sesshaft wurde. (2)

Die moderne globale Erwärmung ist etwa zehn Mal schneller als die natürliche Erwärmung von der Eiszeit ins Holozän, was eine Anpassung massiv erschwert. (3)

Die moderne Erwärmung wird zehntausende Jahre anhalten – es sei denn, es gelingt, aktiv gigantische Mengen an Kohlendioxid wieder aus der Atmosphäre herauszuholen.

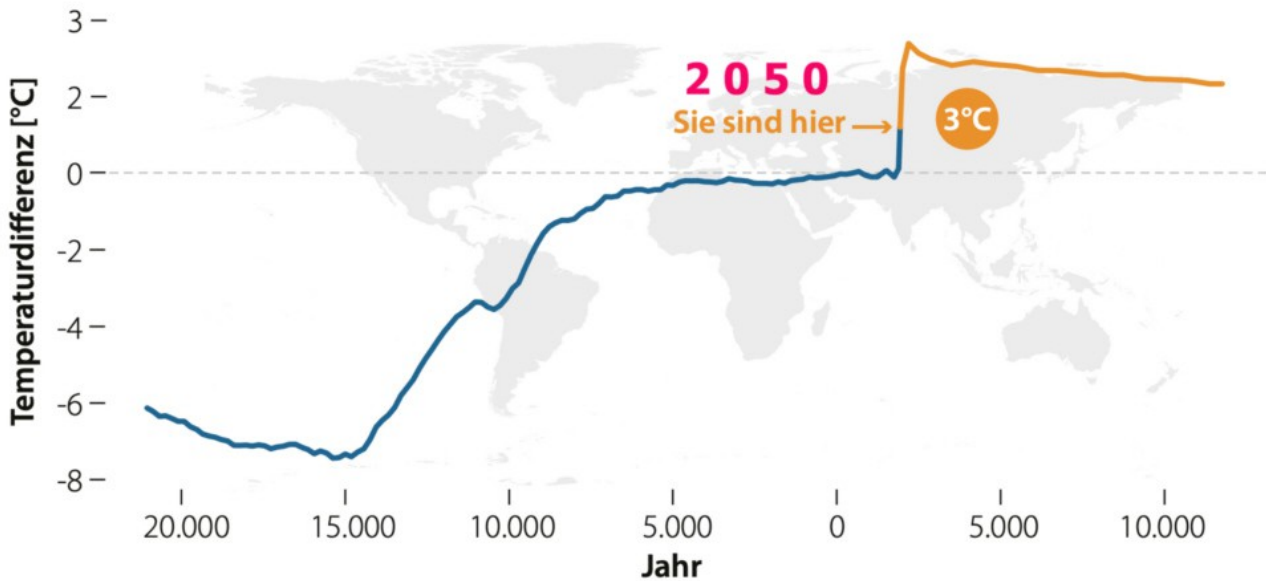


Abbildung 1: Verlauf der globalen Temperatur seit der letzten Eiszeit (etwa 20.000 Jahre vor unserer Zeitrechnung) und für die kommenden 10.000 Jahre bei einem Szenario mit 3 Grad globaler Erwärmung. [2]

Modellsimulationen am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), mit denen die Eiszeitzyklen der letzten drei Millionen Jahre (angetrieben von den bekannten Milankovich-Erdbahnzyklen) korrekt wiedergegeben werden, zeigen: Schon jetzt haben wir der Atmosphäre wahrscheinlich genug CO₂ hinzugefügt, um damit die ansonsten in 50.000 Jahren fällige nächste Eiszeit zu verhindern.

Heizen wir die Erde gar um 3 Grad auf, werden wohl die natürlichen Eiszeitzyklen der nächsten halben Million Jahre ausbleiben. Einige wenige Menschengenerationen verändern unseren Planeten Erde massiv und für lange geologische Zeiträume.

In Deutschland sind wir inzwischen schon bei rund 2,3 Grad Erwärmung angelangt (Abb. 2). Weil Deutschland ein Landgebiet ist, ist das auch nicht weiter überraschend, denn viele Landgebiete erwärmen sich etwa doppelt so rasch wie der globale Mittelwert, der zu 70 Prozent aus Meerestemperaturen gebildet wird.

Die mittlere Erwärmung aller Landgebiete lag 2020 bei 2,0 Grad Celsius. Bei 3 Grad globaler Erwärmung sind bei uns also rund 6 Grad Erwärmung zu erwarten.

Sechs Grad Celsius im Jahresmittel – das ist sehr viel. Damit wäre Berlin wärmer als es



Madrid heute ist. Und während manch einer dabei vielleicht von mediterranen Verhältnissen träumt, wird dieses völlig neue Klima den Landwirten und der heimischen Tier- und Pflanzenwelt überhaupt nicht gefallen. Schon die vergangenen drei trockenen Hitzesommer seit 2018 haben zu einem gravierenden Waldsterben geführt.

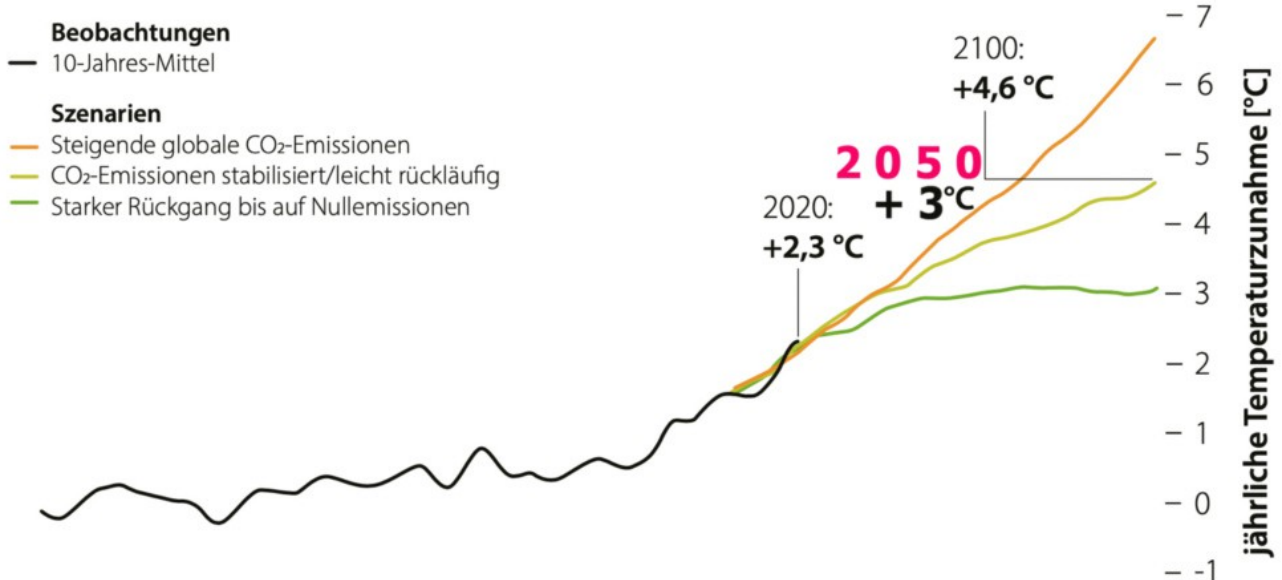


Abbildung 2: Temperaturverlauf in Deutschland nach den Daten des Berkeley Earth Surface Temperature Project. Das Szenario mit 3 Grad globaler Erwärmung liegt zwischen den hellgrün und orange gefärbten Zukunftsszenarien. [3]

Extreme Hitze

Noch wichtiger als die mittleren Temperaturen sind die Extreme. Wo die Menschen heute in Deutschland unter einem Hitzerekord von 39 Grad Celsius stöhnen, dürften es dann eher 45 Grad sein.

Oder sogar mehr, wenn die Böden ausgetrocknet sind, was die Hitze noch verstärken kann. Der Sommer 2003, der damals als »Jahrhundertsommer« galt, hat in Europa rund 70.000 Hitzetote gefordert. [4]

Der Gipfel der Übersterblichkeit war in Frankreich (wo der Schwerpunkt der Hitze lag) deutlich höher als die Ausschläge während der Covid-19-Pandemie.

Die Stadt Paris musste im August 2003 gekühlte Zelte für die vielen Toten aufstellen, weil die Leichenhäuser überfüllt waren.

Das Kühlsystem des menschlichen Körpers funktioniert durch Schwitzen, also durch die Verdunstung von Wasser an der Hautoberfläche, und diese hängt von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ab – je feuchter die Luft bereits ist, desto geringer ist ihre Fähigkeit, weiteren Wasserdampf aufzunehmen und desto schlechter läuft die Verdunstungskühlung.

Die relevante Maßzahl für Hitzestress ist die Kühlgrenztemperatur: die tiefste Temperatur, die sich durch direkte Verdunstungskühlung erreichen lässt. Sie heißt auch Feuchtkugeltemperatur, da sie mit einem in nassem Stoff gehüllten belüfteten



Thermometer gemessen werden kann.

Die Belastungsgrenze des menschlichen Körpers liegt bei einer anhaltenden Kühlgrenztemperatur von 35 Grad Celsius, doch schon unterhalb von 30 Grad wird es gefährlich, denn wir müssen unsere Körpertemperatur bei circa 37 Grad halten und zudem noch die durch Stoffwechsel und Bewegung im Körper erzeugte Wärme abführen können. In der Hitzewelle 2003 traten in Europa Kühlgrenztemperaturen von 28 Grad Celsius auf.

Bei einer Luftfeuchte von 70 Prozent (typisch für Deutschland im Sommer) wird die selbst für gesunde Menschen nach einigen Stunden tödliche Kühlgrenztemperatur von 35 Grad bei einer Lufttemperatur von 40 Grad Celsius erreicht.

Heute wird diese Kühlgrenztemperatur nur selten irgendwo auf der Erde kurzzeitig überschritten, und wenn, dann vor allem am Persischen Golf oder an der mexikanischen Küste.

Nach einer aktuellen Studie [5] hat sich die Häufigkeit gefährlicher Werte seit 1979 bereits mehr als verdoppelt, und im Persischen Golf haben 2017 erstmals Monatswerte der Meerwassertemperaturen die 35-Grad-Grenze überschritten – die feuchtegesättigte Brise vom Meer kann bei solchen Temperaturen tödlich sein.

In Katar dürfen seit Mai 2021 Arbeiter im Sommer zwischen 10 und 15.30 Uhr nicht mehr im Freien arbeiten.

Bei einer globalen Erwärmung um 3 Grad – die wie gesagt auf vielen Landgebieten 6 oder mehr Grad entspricht – werden sich die während Hitzewellen tödlich heißen Gebiete massiv ausweiten, den Aufenthalt im Freien zunehmend gefährlich machen und dadurch zum Beispiel die Feldarbeit in der Landwirtschaft beeinträchtigen.

Extremniederschläge und Dürren

Die Temperaturen verhalten sich noch annähernd linear – das heißt, sie nehmen proportional zu unseren kumulativen Emissionen an Kohlendioxid zu. Leider gilt das für viele Auswirkungen der Erwärmung nicht. Viele physikalische Effekte nehmen mehr als proportional zu.

Das gilt etwa für die Fähigkeit der Atmosphäre, Wasserdampf aufzunehmen. Diese wächst exponentiell mit der Temperatur. Das besagt die Clausius-Clapeyron-Gleichung, ein seit dem 19. Jahrhundert bekanntes, elementares Gesetz der Physik über den Sättigungsdampfdruck von Wasserdampf.

Die gleiche Zunahme gilt auch für den »Dampfhunger« der Atmosphäre. Der Dampfhunger ist die Menge an Wasserdampf, die die Luft bei gegebener relativer Luftfeuchte noch aufnehmen kann.

Das ist relevant, weil bei der Erderhitzung die relative Luftfeuchte annähernd konstant bleibt, und daher der Dampfhunger exponentiell zunimmt.

Es ist dieser Dampfhunger der Luft, der an heißen Tagen die Böden und die Vegetation austrocknen lässt, wodurch Ernten verdorren und die Waldbrandgefahr ansteigt.



Abbildung 3: Seit Jahren herrscht in Kalifornien große Dürre. Verheerende Feuer sind die Folge. [6]

Extremniederschläge haben auch bereits – wie von Klimamodellen seit drei Jahrzehnten vorhergesagt – in den Messdaten signifikant zugenommen. Das gilt in der weltweiten Summe, ist aber inzwischen auch für viele Regionen der Fall. [7] Wegen der stärkeren natürlichen Schwankungen auf regionaler Skala und der kleineren Fallzahl der Extreme wird das Signal umso später statistisch nachweisbar, je kleiner die betrachtete Region ist. Der aktuelle Bericht des Weltklimarats zählt auch Mittel- und Nordeuropa zu den Regionen, in denen eine Zunahme schon nachweisbar ist. Eine Studie der ETH Zürich zeigte 2020 auch für Deutschland, die Niederlande und die Schweiz, dass in diesen Ländern eine statistisch relevante Zunahme von Extremregenereignissen beobachtet wird. [8]

Insgesamt nehmen Niederschläge weltweit mit der Erwärmung zu, weil die Verdunstungsrate von den Ozeanen um rund 3 Prozent pro Grad ansteigt. Fast die gesamte Zunahme kommt allerdings in Starkregenereignissen vom Himmel, für die es auf die Wasserdampfmenge in gesättigten Luftmassen ankommt, die laut der erwähnten Clausius-Clapeyron-Gleichung um 7 Prozent pro Grad Erwärmung zunimmt – also rascher als der Wassernachschub durch Verdunstung. Dadurch nimmt Starkregen zu, Tage mit geringem Niederschlag nehmen tendenziell ab und Perioden ohne Niederschlag werden länger. Insgesamt nehmen daher sowohl Starkregenereignisse als auch Dürreperioden zu.

Die Zerstörungen, die Extremniederschläge anrichten können, sind in Deutschland zum Beispiel durch die Elbeflut 2002, die große Flut an Donau und Elbe 2015, die Sturzflut in Braunsbach 2016 sowie die verheerende Ahrtalflut 2021 vor Augen geführt worden.

Bei den Niederschlägen gibt es zudem große regionale und saisonale Unterschiede. Bestimmte Regionen wie der Mittelmeerraum, der mittlere Westen der USA, Südafrika und Australien trocknen zunehmend aus. Für die Landwirtschaft und natürliche Ökosysteme ist



die Dürre als Verlust von Bodenfeuchte und Austrocknung der Vegetation relevant. Eine so verstandene Dürre nimmt selbst bei unveränderten Niederschlägen zu, weil in einem wärmeren Klima der Wasserverlust durch Verdunstung ansteigt. Auch für Dürre sieht der aktuelle IPCC-Bericht bereits eine beobachtete und durch die anthropogene Erwärmung verursachte Zunahme für den überwiegenden Teil der Landgebiete der Erde.

Zu dem simplen Mechanismus, dass warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann, kommen Veränderungen der atmosphärischen Dynamik hinzu. Aktuelle Forschung deutet darauf hin, dass die Persistenz, also die Andauer bestimmter Wetterlagen, in den letzten Jahrzehnten in großen Teilen Europas zugenommen hat. [9] So wird aus einigen heißen Tagen eine gesundheitsgefährdende Hitzewelle oder aus einer trockenen Phase eine anhaltende Dürre. Diese zunehmende Persistenz wird auf eine Verlangsamung der allgemeinen Westwindzirkulation einschließlich des Jetstreams im Sommer zurückgeführt, die wahrscheinlich mit der starken Erwärmung der arktischen Landgebiete zusammenhängt. [10] Nach einer aktuellen Studie hat sich die Arktis in den letzten 40 Jahren sogar viermal stärker erwärmt als der Rest des Globus, [11] was das Temperaturgefälle von den Tropen zur Arktis verringert, das die Westwinde der mittleren Breiten antreibt. Hinzu kommen gelegentlich stark aufgeschaukelte Wellen im Jetstream, die um die ganze Nordhalbkugel herum reichen und dort zu gleichzeitigen Extremen führen. [12]

Ein Albtraumszenario mancher Klimaforscher ist eine gleichzeitige Dürre mit Ernteaussfällen in den großen Kornkammern der Nordhalbkugel im Westen Nordamerikas und Russlands, in Westeuropa und der Ukraine. [13] Schon in der Dürre- und Brandkatastrophe im Sommer 2010 hat Russland den Export von Getreide wegen der Ernteaussfälle eingestellt, was die Preise bei den Abnehmern in Nordafrika massiv in die Höhe trieb und damit zum »Arabischen Frühling« beigetragen hat, der sich auch an hohen Brotpreisen entzündete. Auch die Revolte in Syrien, die im März 2011 begann, folgte auf die schlimmste Dürre dort in der mehr als hundertjährigen Geschichte der Wetteraufzeichnungen. [14] Konflikthafte, schwache Staaten können durch Extremereignisse und Ernteaussfälle destabilisiert werden, mit Auswirkungen auf die Weltpolitik.

Tropische Wirbelstürme

Tropische Wirbelstürme sind eine erhebliche Gefahr in den tropischen und subtropischen Regionen der Erde. So hat im September 2017 der Kategorie-5-Hurrikan Maria große Teile der Insel Puerto Rico zerstört und mehr als 3.000 Menschenleben gekostet. Die Erderwärmung lädt tropische Wirbelstürme mit zusätzlicher Energie auf – denn ihre Zerstörungskraft ziehen diese Stürme aus der im oberen Ozean gespeicherten Wärmeenergie. Deshalb entstehen sie nur in Regionen mit Wassertemperaturen über 26,5 Grad; in gemäßigteren Breiten ist das Meerwasser bislang schlicht zu kalt. Daher haben Klimaforscher seit Jahrzehnten vorhergesagt, dass Tropenstürme stärker werden würden. Lange ließ sich eine Zunahme allerdings nicht mit Daten belegen. Nicht, weil die Daten keine Zunahme zeigten (das taten sie), sondern weil unklar war, wie verlässlich die älteren Daten die Stärke von Tropenstürmen abbilden und ob womöglich vor der Satellitenära manche Tropenstürme fern von Landgebieten gar nicht erfasst wurden.



Doch inzwischen ist eine echte klimatische Zunahme der Tropensturmstärken in den Daten nachweisbar. [15] Der aktuelle IPCC-Bericht konstatiert erstmals, dass der Anteil besonders starker Tropenstürme (Kategorien 3 bis 5) zugenommen hat, wofür der anthropogene Klimawandel die Hauptursache ist. Wer die äußerst vorsichtigen und zurückhaltenden Aussagen des IPCC aus früheren Berichten dazu kennt, versteht die Bedeutung dieser Folgerung. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Tropenstürme sich rascher verstärken können, langsamer fortbewegen (wodurch Bereiche unter dem Sturm länger betroffen sind) und in höhere Breitengrade vordringen – in Europa zum Beispiel vor die Küste Portugals.

Schon länger unstrittig ist, dass die extremen Niederschläge, die oft der Hauptgrund für die Verwüstungen durch Tropenstürme sind, durch die Erwärmung zugenommen haben, wofür wiederum die Clausius-Clapeyron-Gleichung herangezogen werden kann und hier auch besonders die Zunahme der Verdunstung von wärmerem Meerwasser unter dem Sturm. Hurrikan Harvey flutete im August 2017 Houston und wurde gleichauf mit Hurrikan Katrina 2005 (Abb.5) in New Orleans zum teuersten Tropensturm der US-Geschichte (125 Milliarden US-Dollar Schaden). Harvey brachte die ergiebigsten Niederschläge, die jemals in den USA gemessen wurden: Das Maximum lag bei 1.539 Millimeter Niederschlag innerhalb von 4 Tagen. Zum Vergleich: die 3-Tages-Niederschlagssumme im Ahrtal lag bei der Flut im Juli 2021 bei 115 Millimeter.



Abbildung 5: Blick auf das von Hurrikan Katrina verwüstete und überflutete New Orleans. [16]

Ebenfalls unstrittig ist, dass der steigende Meeresspiegel durch die Erderhitzung die Sturmfluten verschlimmert, die durch Tropen- oder andere Stürme verursacht werden. Gerade die letzten zusätzlichen Dezimeter verursachen oft die höchsten Schäden, wenn das Wasser in Gebiete vordringt, wo bislang niemand mit einer Sturmflutgefahr gerechnet



hat. Wie etwa bei Hurrikan Sandy 2012, dessen Sturmflut Tunnel der New Yorker U-Bahn flutete. Oder Taifun Haiyan, dessen Sturmflut 2013 die Stadt Tacloban auf den Philippinen dem Erdboden gleichmachte und über 6.300 Todesopfer forderte.

Meeresspiegel und Eisschilde

Auch in Sachen Meeresspiegel hilft die Perspektive der Erdgeschichte. Im Pliozän vor drei Millionen Jahren war der Meeresspiegel zwischen 5 und 25 Meter höher als heute, weil es viel weniger Eis auf den Kontinenten gab. Umgekehrt war der Meeresspiegel auf dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren 120 Meter niedriger als heute. Die derzeit vorhandenen Kontinentaleismassen, vor allem in der Antarktis und Grönland, sind derart groß, dass sie genug Wasser für 65 Meter globalen Meeresspiegelanstieg liefern können.

Unsere Australopithec-Vorfahren im Pliozän dürfte der höhere Meeresspiegel wohl kaum gestört haben. Doch an den gegenwärtigen Küstenlinien unseres Planeten liegen mehr als 130 Millionenstädte, dazu andere Infrastrukturen wie Häfen, Flughäfen und rund 200 Kernkraftwerke mit Meerwasserkühlung (wie Sizewell B an der britischen Nordseeküste). Schon ein Meter Meeresanstieg wäre eine Katastrophe. Bislang beträgt der Anstieg seit dem späten 19. Jahrhundert rund 20 Zentimeter, was an manchen Küsten bereits Probleme verursacht.

Nicht nur während Sturmfluten, sondern sogar im Rahmen der normalen Gezeitenzyklen, durch die zum Beispiel in Städten an der Ostküste der USA gelegentlich Straßen unter Wasser stehen, was man dort »nuisance flooding« nennt – kein Desaster, aber lästig.

Beim Meeresspiegelanstieg sieht es so aus, dass die Geschwindigkeit des Anstiegs (zumindest bislang) annähernd proportional zum Temperaturanstieg zunimmt. Das heißt, nach 3 Grad Erwärmung dürfte der Meeresspiegel grob geschätzt etwa dreimal so schnell steigen wie heute.

Das liegt unter anderem daran, dass die Kontinentaleismassen umso schneller schmelzen, je wärmer es wird. Der Anstieg des Meeresspiegels beschleunigt sich bereits – das ist nicht nur in den langen Datenreihen der Hafenpegel sichtbar, sondern inzwischen sogar innerhalb der erst seit 1993 laufenden Satellitenmessungen (Abb. 5).

Allerdings gibt es auch hier komplexere Effekte, die dieser einfachen Logik noch eins draufsetzen. Denn Eis schmilzt nicht einfach nur an der Oberfläche, es rutscht auch ins Meer, oder besser: es fließt wie ein zäher langsamer Fluss.

Gelangt Schmelzwasser unter das Eis, verringert dies die Bodenreibung und das Eis fließt rascher. Entsprechend steigt auch der Meeresspiegel noch schneller an. In der Antarktis verschwinden außerdem nach und nach die auf dem Meer schwimmenden Eisschelfe, die den Auslassgletschern vorgelagert sind, weil sie im wärmeren Meerwasser von unten abschmelzen. Die Eisschelfe wiederum bremsen das Nachfließen von weiterem Kontinentaleis, sodass sich nach ihrem Verschwinden die Eisströme ins Meer beschleunigen.

Und es wird noch komplizierter: Das Kontinentaleis hat Kipppunkte. Ein Kipppunkt ist der

: QUELLE : https://www.citizenet.net/de/kusel/2025_Gemeinsamer_Aufruf_der_DMG_und_der_DPG.pdf :

: Besuche Erwerbslosenverband Deutschland [e.V. i.Gr.] : <http://www.erwerbslosenverband.org> :
i NEU + COOL ! Betrachtungen aus dem Mülleimer der Nation = <http://www.humanearthling.org/book/ei>



Punkt, an dem die weitere Entwicklung in einen grundlegend anderen Zustand zum unaufhaltsamen Selbstläufer wird, angetrieben durch selbstverstärkende Rückkopplungseffekte.

Der Eispanzer auf Grönland hat einen solchen Kipppunkt, ab dem er komplett abschmelzen wird. Die verstärkende Rückkopplung besteht darin, dass die Oberfläche des rund 3.000 Meter dicken Eisschilds automatisch in immer tiefere und damit wärmere Luftschichten gelangt, je mehr die Eisdicke abnimmt.

Daher wird ab einem bestimmten Punkt das Eis komplett abschmelzen, auch ohne weitere Erderwärmung.

Im Endergebnis wird der globale Meeresspiegel durch den Verlust des Grönlandeises um 7 Meter ansteigen. Dieser Kipppunkt liegt wahrscheinlich irgendwo zwischen 1 und 3 Grad globaler Erwärmung. [18]

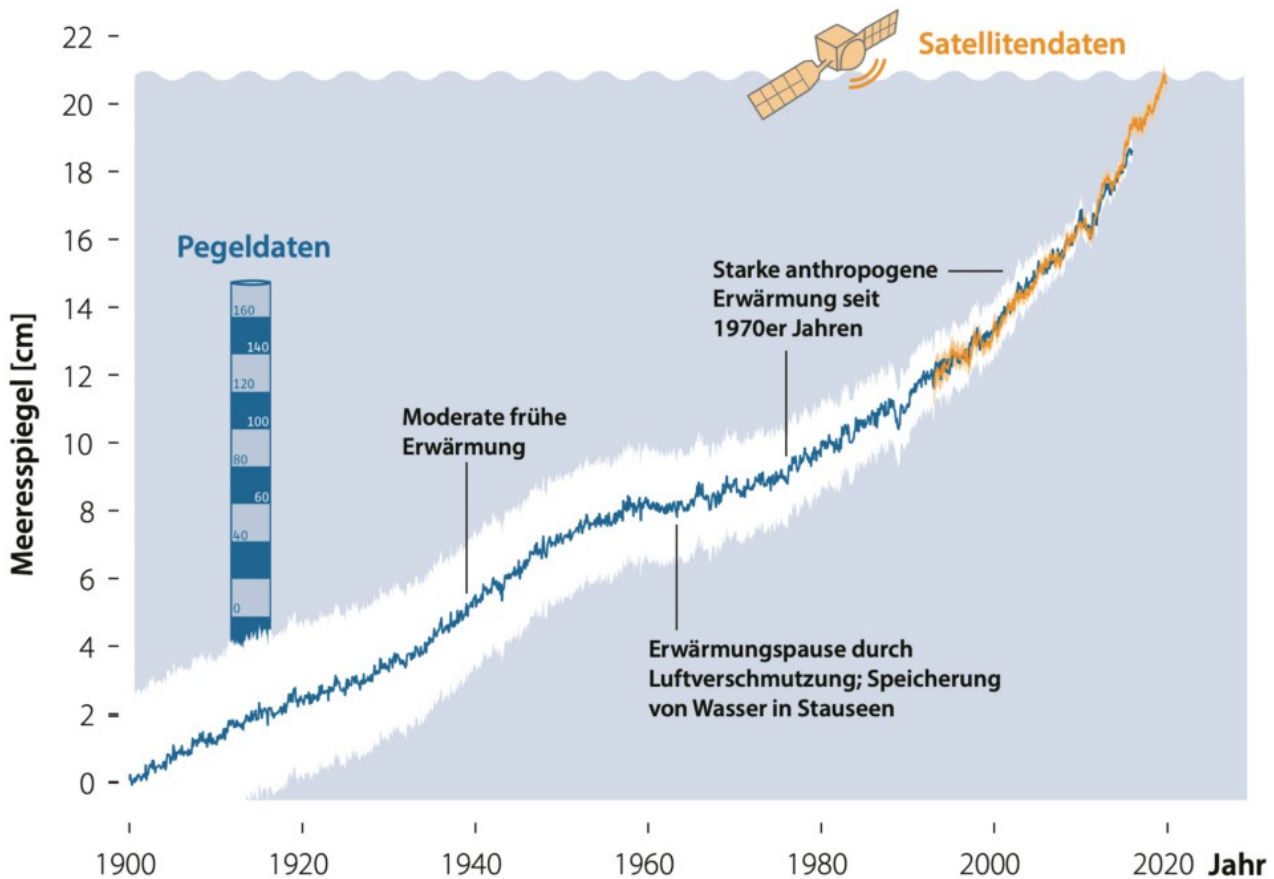


Abbildung 5: Entwicklung des globalen Meeresspiegels, von Hafenpegeln (blau) sowie von Satelliten (orange) gemessen. In den letzten 60 Jahren hat sich der Anstieg kontinuierlich beschleunigt. [18]

Ähnlich sieht es mit dem Westantarktischen Eisschild aus – hier geht es um weitere 3 Meter Meeresspiegelanstieg, allerdings durch einen anderen Rückkopplungseffekt, die marine Eisschildinstabilität, durch die Kontinentaleis in unaufhaltsames Rutschen geraten kann.

Es gibt Studien, die nahelegen, dass dieser Kipppunkt bereits überschritten und damit der Verlust dieses Eisschildes schon ausgelöst sein dürfte. [19]



Der aktuelle IPCC-Bericht erwartet bei einer Erwärmung von 3 Grad Celsius einen Meeresspiegelanstieg von 70 Zentimetern (gegenüber dem späten 19. Jahrhundert) vor dem Ende dieses Jahrhunderts.

Die 1-Meter-Marke wird danach bereits zwischen 2100 und 2150 gerissen. Beim Meeresspiegelanstieg gibt es aber erhebliche Risiken nach oben – das heißt, es könnte noch viel schlimmer kommen, wenn große Eismassen vor allem in der Antarktis destabilisiert werden.

Der IPCC schreibt, dass bei hohen Emissionen selbst mehr als 2 Meter bis 2100 und sogar 5 Meter bis 2150 nicht ausgeschlossen werden können, also eine globale Katastrophe von unvorstellbaren Ausmaßen.

Diese Risikobetrachtung ist neu beim IPCC. Noch im 4. Bericht von 2007 hatte er beim höchsten Emissionsszenario eine Spanne von 26 bis 59 Zentimetern zwischen 1990 und 2100 angegeben, was relativ zum späten 19. Jahrhundert etwa 41 bis 74 Zentimetern entspricht (und das in einem Emissionsszenario mit bis zu 5,2 Grad Erwärmung).

Zum Risiko von Eisrutschung schrieb der IPCC, dass dadurch möglicherweise 10 bis 20 Zentimeter hinzukommen könnten, sodass bis 2100 selbst bei extremer Erwärmung jedenfalls mit weniger als 1 Meter zu rechnen war.

Eine Reihe von Kollegen, darunter auch ich, waren damals der Meinung, dass der IPCC die Meeresspiegelrisiken erheblich unterschätzt – nicht zuletzt weil der gemessene bisherige Anstieg bereits rund 50 Prozent schneller verlief als in den Modellszenarien des IPCC.

Zudem ging der IPCC davon aus, dass die Antarktis praktisch nichts zum künftigen Anstieg beitragen würde, auch dies in Kontrast zu dem von Satellitendaten bereits gezeigten Eisverlust.

Wer in der Klimaforschung manche Dinge pessimistischer einschätzt als der traditionell sehr vorsichtige IPCC, muss aber damit umgehen, in manchen Medien des »Alarmismus« bezichtigt zu werden – auch wenn die Einschätzung korrekt ist und später vom IPCC auch geteilt wird.

Der aktuelle IPCC-Bericht warnt weiter, dass der Meeresspiegel für Jahrtausende weiter steigen wird, nachdem die globale Temperatur stabilisiert wurde, und dass der Anstieg über menschliche Zeiträume unumkehrbar ist – und dies mit »sehr hoher Sicherheit«.

Das Bundesverfassungsgericht hat in seinem wegweisenden Urteil 2021 zum Klimaschutz die Generationengerechtigkeit betont.

Beim Meeresspiegelanstieg müssen unzählige Generationen nach uns unter den Folgen unserer heutigen Entscheidungen leiden. Und zwar nicht nur wegen eines höheren Meeresspiegels, an den man sich im Laufe eines Jahrhunderts anpassen könnte.

Sondern weil der Meeresspiegel jahrtausendlang weiter steigen wird, bei 3 Grad Erwärmung um etwa einen Meter pro Jahrhundert, was die Küstenzonen der Erde erodiert, Strände wegpült, jede Infrastruktur mit ständig wachsenden Sturmflutrisiken bedroht und dauerhafte Küstenstädte, wie wir sie heute noch kennen, kaum mehr möglich macht.



Die Kippunkte des Klimasystems

Bei den Eisschilden haben wir bereits zwei Kippunkte des Klimasystems erwähnt, bei denen die weitere Entwicklung zum unaufhaltsamen Selbstläufer wird und damit außer Kontrolle gerät.

Solche Kippunkte gibt es noch mehr, denn letztlich braucht man dazu lediglich eine verstärkende Rückkopplung, eine simple Nichtlinearität, wie sie in vielen physikalischen Systemen vorkommt.

Zum Beispiel wird ein Kajak sich wieder aufrichten, wenn man es ein wenig zur Seite neigt – es stabilisiert sich selbst in einer horizontalen Lage und widersetzt sich dem Versuch, es zu kippen. Aber nur bis zu einem gewissen Punkt – ab da dreht es sich von selbst weiter und stabilisiert sich nun in einer neuen Lage: kopfunter.

Dieser kritische Punkt ist buchstäblich der Kippunkt.

Auch Grönland hat unter heutigen Klimabedingungen zwei stabile Gleichgewichte: mit dem Eispanzer, wie wir ihn heute kennen, und ohne Eisschild. Das Eis stabilisiert sich selbst, weil es einmal da ist und die Oberfläche wegen der 3.000 Meter dicken Eisschicht so kalt ist, dass es nicht schmilzt.

Das bezeichnet man als Eishöhen-Rückkopplung. Wäre das Eis dagegen weg, wäre das dann nahe Meeresniveau liegende Grönland nicht kalt genug, um einen neuen Eispanzer zu bilden, und bliebe dauerhaft eisfrei. Entstanden ist der grönländische Eisschild in einem kälteren Klima während einer der früheren Eiszeiten.

Solche Kippunkte gibt es nicht nur in der Physik, sondern ebenso für Ökosysteme, die sich selbst stabilisieren, aber auch »umkippen« können, wenn eine Belastungsgrenze überschritten wird. Auch der menschliche Körper reguliert selbst seine Temperatur – bis zu einer kritischen Belastungsgrenze, oberhalb derer die Selbstkühlung überlastet ist, zunehmend Organe versagen und der Mensch schließlich stirbt.

Auch wir haben also unseren persönlichen Kippunkt. Das gilt auch für Gesellschaften – der Fall der Mauer war ein Kippunkt des DDR-Staates.

Dabei beschreibt der Begriff Kippunkt keine Wertung, sondern lediglich eine bestimmte Art von Dynamik; die angestoßene Veränderung kann natürlich auch wünschenswert sein, das liegt im Auge des Betrachters.

Eine Übersicht der wichtigsten Kippunkte des Klimasystems zeigt Abbildung 6. Bei all diesen Kippunkten besteht ein Risiko, dass sie bei 3 Grad Erderhitzung überschritten werden. Bei einigen, wie dem Grönlandeis und dem Westantarktischen Eisschild, ist dies sogar sehr wahrscheinlich, bei der sommerlichen Meereisdecke der Arktis und den Korallenriffen der Erde sogar sicher.

Der IPCC kommt zum Schluss, dass schon bei 2 Grad Erwärmung so gut wie alle Korallenriffe absterben; bei Begrenzung auf 1,5 Grad könnten wir noch 10 bis 30 Prozent der Korallen retten.

Bereits seit 2015 befindet sich unser Planet in einem globalen Korallensterben. [20]

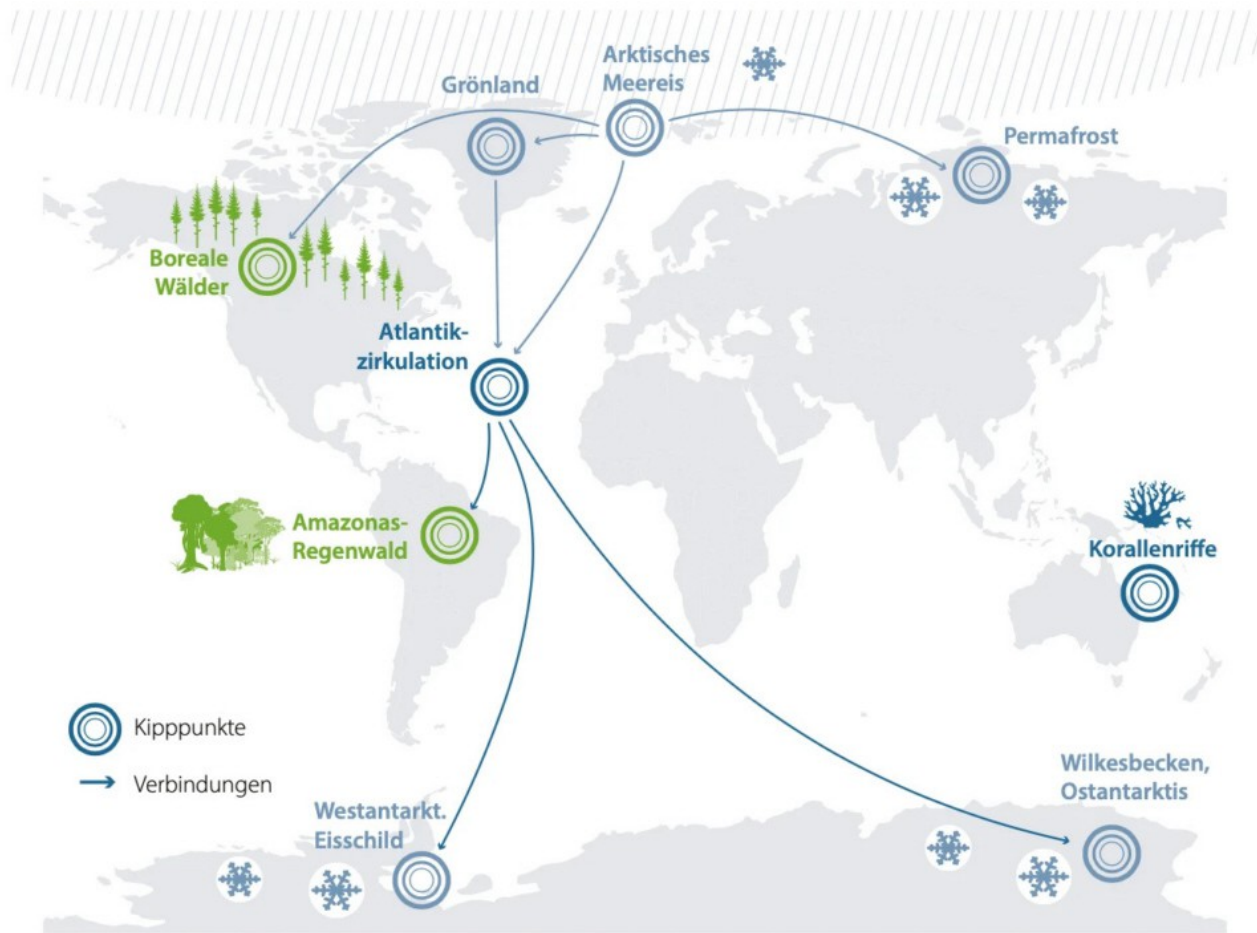


Abbildung 6: Einige der wichtigsten Kippelemente des Klimasystems. Die Pfeile deuten auf Wechselwirkungen hin, wodurch die Teilsysteme sich gegenseitig zum Umkippen bringen könnten. [21]

Die Atlantikzirkulation (oft auch Golfstromsystem genannt) ist eine große Umwälzbewegung des Atlantischen Ozeans, bei der warmes Oberflächenwasser vom Südatlantik über den Äquator bis in den hohen Norden des Atlantiks strömt, wo es abkühlt und Wärme an die Luft abgibt. Das Ganze funktioniert wie eine Zentralheizung für den Nordatlantikraum bis hinein nach Europa. Gefährdet ist diese Strömung vor allem durch Süßwassereintrag durch verstärkte Niederschläge und Eisschmelze. Süßwasser ist leichter als Salzwasser und behindert damit das Absinken des Wassers in die Tiefe und somit den Antrieb der Atlantikzirkulation.

Modelle lassen eine Abschwächung der Strömung durch die globale Erwärmung erwarten, deren Ausmaß aber unsicher ist und von sehr gering bis 50 Prozent in diesem Jahrhundert reicht. Es gibt ernsthafte Hinweise, dass viele Modelle die Stabilität des Golfstromsystems systematisch überschätzen. Eine auffallende Abkühlung des Wassers im subpolaren Nordatlantik seit Mitte des 20. Jahrhunderts deutet auf eine Abschwächung um bislang 15 Prozent hin. [22] Eine 2021 erschienene Studie sieht bereits Anzeichen dafür, dass wir uns dem Kippunkt der Atlantikzirkulation nähern. Wenn sich dies bestätigt, ist dies äußerst beunruhigend. [23]



Die Folgen eines Abreißen der Strömung wären massiv und unabsehbar, sie reichen von Extremwetter in Europa über den Kollaps wichtiger Ökosysteme im Nordatlantik bis zu verstärktem Meeresspiegelanstieg an der US-Küste (bis zu einem Meter zusätzlich).



Abbildung 7: Korallenbleiche am Great Barrier: Ab circa 2 Grad Erwärmung könnten alle Korallenriffe absterben. [24]

Die Regenwälder der Amazonasregion sind bereits heute direkt vom Klimawandel betroffen. Satellitendaten und Messungen vor Ort haben gezeigt, dass zunehmende Dürren den Amazonaswald von einer Kohlenstoffsенке in eine Kohlenstoffquelle verwandeln. [25] Bereits heute sind Teile der Baumbestände den neuen Klimabedingungen nicht gewachsen und sterben ab. Mindestens genauso bedeutend ist die Expansion der Landwirtschaft und die damit verbundene Entwaldung, welche die Auswirkungen des Klimawandels noch verstärkt. Dadurch verliert der Amazonaswald bei weiter fortschreitender Abholzung an Resilienz. Der Kipppunkt, der zu weiträumigem Verlust dieses einzigartigen Ökosystems führt, wird bei umso geringerer globaler Erwärmung erreicht, je mehr abgeholzt wird. Der heutige Waldverlust wird bereits auf 20 Prozent beziffert.

Bei zunehmender Erwärmung können auch die an kalte Klimabedingungen angepassten Nadelwälder des Nordens zunehmend in ihrer Existenz gefährdet sein, unter anderem durch Feuer und Insektenbefall. In den letzten Jahren gab es bereits ausgedehnte Waldbrände in Kanada (z. B. in Fort McMurray 2016) und Russland (2010 im europäischen Teil) und sogar innerhalb des Polarkreises (2017 in Grönland, 2018 in Schweden). In der Übergangszone des nördlichen Waldgürtels zur Steppe ist die Regeneration des Baumbestandes möglicherweise durch zunehmende Trockenheit und Hitzestress gefährdet.



Aktuell im Brennpunkt der Forschung ist das Risiko einer Kaskade von Kipppunkten, die sich wie Dominosteine gegenseitig auslösen. So könnte die Eisschmelze im Nordpolarmeer und auf Grönland das Nordatlantikwasser soweit mit Süßwasser verdünnen, dass die Atlantikzirkulation zum Versiegen gebracht wird.

Dies wiederum würde die tropischen Niederschlagsgürtel verschieben und könnte Teile des Amazonaswaldes sowie die Monsune destabilisieren. Und als sei dies nicht genug, könnte dies die Eisschilde der Antarktis über ihren Kipppunkt treiben. Eine quantitative Einschätzung dieser Risiken ist bislang noch nicht möglich.

Auch der IPCC misst den Kipppunkten eine stark wachsende Bedeutung bei. Wurde der Begriff »tipping point« im 5. IPCC-Bericht nur 27 Mal erwähnt, waren es im 6. Bericht schon 97 Nennungen.

Selbstverstärkung der Erderhitzung

In der Öffentlichkeit wird stark diskutiert, ob nicht nur Teilsysteme umkippen könnten, sondern sogar die Erderwärmung insgesamt ab einem kritischen Punkt zum unaufhaltsamen Selbstläufer wird. Meist wird hier die Freisetzung von Methan aus Permafrost als verstärkende Rückkopplung genannt. Im Jahr 2018 erschien eine Aufsehen erregende Studie dazu im Fachjournal Proceedings of the National Academy, die als »Heißzeitstudie« durch die Medien ging. [26] »Heißzeit« wurde daraufhin sogar zum Wort des Jahres 2018 gewählt.

Die Studie untersuchte, wie stark die in den Klimamodellen noch nicht berücksichtigten Rückkopplungseffekte im Kohlenstoffkreislauf die Erderhitzung noch verstärken könnten. Abgeschätzt wurde dabei nicht nur die Methanfreisetzung aus Permafrost, sondern auch die CO₂-Freisetzung aus absterbenden oder brennenden Wäldern und eine abnehmende CO₂-Aufnahme der Ozeane.

Die Permafrostregion ist ein global bedeutender Kohlenstoffspeicher, der 1.300 bis 1.600 Milliarden Tonnen Kohlenstoff enthält und damit wahrscheinlich 50 Prozent des gesamten im Boden gespeicherten Kohlenstoffs weltweit. Die Permafrostgebiete haben sich zwischen 1990 und 2016 bereits um bis zu 4 Grad Celsius erwärmt. Wenn der Permafrost auftaut, wird der Bodenkohlenstoff durch Mikroben zersetzt. Dadurch könnte der im Permafrost gespeicherte Kohlenstoff bis zum Jahr 2100 um 15 Prozent reduziert werden.

Abschätzungen zum gespeicherten Kohlenstoff in lebendem und totem Pflanzenmaterial in der Amazonasregion (Summe ober- und unterirdisch) belaufen sich auf 80 bis 120 Milliarden Tonnen. Würde dieser gespeicherte Kohlenstoff im Extremfall komplett freigesetzt, entspräche dies derjenigen Menge an fossilen CO₂-Emissionen, die aktuell in 8 bis 12 Jahren in die Atmosphäre gelangen.

Das Ergebnis der Berechnungen (das leider in vielen Medienberichten etwas zu kurz kam) war, dass aus einer Erwärmung um 2 Grad eine um bis zu 2,5 Grad werden könnte – wenn, wie vorhin erwähnt, sich der Kohlenstoffkreislauf verändert und Rückkopplungen ausgelöst werden. Das ist keineswegs harmlos und verschärft die Klimakrise erheblich – es bedeutet aber nicht, dass ein globaler Kipppunkt zu einer galoppierenden Erwärmung



überschritten wird. Dieses Risiko gilt zum Glück nach wie vor als sehr gering, wenn auch nicht völlig auszuschließen.

Das Methanproblem ist auf jeden Fall ernst zu nehmen, aber in diesem Jahrhundert wahrscheinlich weniger dramatisch. Langfristig hingegen schon, denn der auftauende Permafrost wird eine für viele Jahrhunderte nicht zu kontrollierende Quelle von Treibhausgasemissionen schaffen, die zu weiterer Erwärmung führen dürfte, auch nachdem die direkten anthropogenen Emissionen auf null reduziert worden sind.

Fazit

Ohne sofortige, entschiedene Klimaschutzmaßnahmen könnten bereits meine Kinder, die derzeit das Gymnasium besuchen, eine 3 Grad wärmere Erde erleben. Niemand kann genau sagen, wie diese Welt aussehen würde – zu weit wäre sie außerhalb der gesamten Erfahrung der Menschheitsgeschichte.

Doch ziemlich sicher wäre diese Erde voller Schrecken für die Menschen, die sie erleben müssten. Wetterchaos mit tödlichen Hitzewellen, verheerenden Monsterstürmen und anhaltenden verbreiteten Dürren, die weltweite Hungerkrisen auslösen könnten. Steigende Meeresspiegel, die unsere Küsten verwüsten. Umkippende Ökosysteme, verheerendes Artensterben, brennende und verdorrnde Wälder, versauerte Ozeane. Failed States, riesige Menschenzahlen auf der Flucht.

Das klingt finster und dystopisch und es fällt mir schwer, das zu schreiben, während ich an meine Kinder denke. Aber es ist wahrscheinlich. Das meiste wurde schon lange vorhergesagt und ist in für die Betroffenen durchaus nicht harmlosen Anfängen längst zu beobachten. Man muss nur nüchtern der Tatsache ins Auge blicken, dass die geschilderten Verhältnisse in einer 3-Grad-Welt höchstwahrscheinlich nicht »nur« drei Mal schlimmer als in einer 1-Grad-Welt sein werden, wofür die nicht linearen Effekte und die Kipppunkte sorgen werden.

Ich bin nicht sicher, ob das halbwegs zivilisierte Zusammenleben der Menschen, wie wir es kennen, unter diesen Bedingungen noch Bestand haben wird. Ich persönlich halte eine 3-Grad-Welt für eine existenzielle Gefahr für die menschliche Zivilisation.

Was Hoffnung macht, ist, dass diese 3-Grad-Welt kein unvermeidliches Schicksal ist. Noch ist es sogar möglich, die Erwärmung auf nahe der 1,5-Grad-Marke zu begrenzen – was 2015 in Paris von allen Ländern einstimmig beschlossen wurde und wozu hierzulande fast alle Politiker Lippenbekenntnisse abgeben.

Die weltweite Klimapolitik macht durchaus Fortschritte: Mit den beim Klimagipfel in Glasgow angekündigten Maßnahmen rückt die Begrenzung auf 2 Grad in Reichweite, wenn diese Maßnahmen nicht nur versprochen, sondern konsequent umgesetzt werden.

Doch die Begrenzung auf 2 Grad reicht nicht aus. Um das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten, muss die Welt endlich in den ernsthaften Krisenmodus schalten, wie die jungen Menschen von Fridays for Future völlig zu Recht einfordern.

Klimaschutz muss dazu die höchste Priorität bekommen.



Anmerkungen

- 1 IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Rep. Cambridge/UK.
- 2 Abb. 1 Grafik nach Andrew Dessler auf Basis der Daten von: Osman, M. B. et al. (2021): Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum. Nature, 599 (7884): 239-244.
- 3 Abb. 2 Berkely Earth, <https://berkeleyearth.org/policy-insights>.
- 4 Robine, J. M. et al. (2008): Death toll ex-ceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies, 331 (2): 171-175.
- 5 Raymond, C.; T. Matthews; R. M. Horton (2020): The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. Science Advances, 6.
- 6 Abb. 3 Foto: stock.adobe.com/Scott.
- 7 IPCC (2021).
- 8 Zeder, J.; E. M. Fischer (2020): Observed extreme precipitation trends and scaling in Central Europe. Weather and Climate Extremes, 29.
- 9 Hoffmann, P. et al. (2021): Atmosphere similarity patterns in boreal summer show an increase of persistent weather conditions connected to hydro-climatic risks. Sci Rep, 11 (1), 22893.
- 10 Coumou, D.; J. Lehmann; J. Beckmann (2015): The weakening summer circulation in the Northern Hemisphere midlatitudes. Science, 348 (6232): 324-327.
- 11 Voossen, P. (2021): The Arctic is warming four times faster than the rest of the world, Science.
- 12 Kornhuber, K. et al. (2017): Summertime Planetary Wave Resonance in the Northern and Southern Hemispheres. J. Clim., 30 (16): 6133-6150.
- 13 Kornhuber, K. et al. (2019): Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions. Nature Climate Change 10: 48-53.
- 14 Kelley, C. P. et al. (2015): Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proc Natl Acad Sci USA, 112 (11): 3241-3246.
- 15 Kossin, J. P. et al. (2020): Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. Proc Natl Acad Sci USA, 117 (22): 11975-11980.
- 16 Abb. 4 <https://photolib.noaa.gov/Collections/National-Weather-Service/Meteorological-Monsters/Hurricane-Katrina/emodule/636/item/3661>
- 17 Robinson, A.; R. Calov; A. Ganopolski (2012): Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet. Nature Clim. Change, 2 (6): 429-432.
- 18 Abb. 5 Grafik nach Dangendorf, S. et al. (2019): Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. Nature Clim. Change, 9 (9): 705-710.



1

... sich der realen Gefährdungslage durch die fortschreitende menschengemachte globale Erwärmung und der Dringlichkeit des Handelns bewusst zu werden.



2

... auf der Basis des bisher Erreichten Entscheidungen für eine weitere und drastische Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen zu treffen, insbesondere bei der Energieerzeugung, der Mobilität, der industriellen Produktion, dem Bauen und der Landwirtschaft.



3

... in internationalen Verhandlungen konsequent für eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen unter Einhaltung der Vorgaben des Pariser Klimaabkommens einzutreten.



4

... die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so zu verändern, dass die Vermeidung von Treibhausgasemissionen deutlich attraktiver wird.



5

... Anreize so zu gestalten, dass emissionsarme Produkte und Dienstleistungen günstiger sind als emissionsstärkere.



6

... Voraussetzungen zu schaffen, um treibhausgasemissionsfreie Prozesse anzuwenden und die benötigten Verfahren sowie Anlagen für eine sparsame und effiziente Energienutzung weiterzuentwickeln.



7

... im Naturschutz verstärkt Maßnahmen zu fördern, bei denen CO₂-Speicherung durch Aufforstung, den Schutz und die Wiederherstellung von Mooren sowie die langfristige Nutzung von Holz als Baustoff stattfindet.



8

... notwendige Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen der globalen Erwärmung so zu planen, dass sie nach Möglichkeit gleichzeitig auch dem Klimaschutz dienen.



9

... den Rückzug aus tieferliegenden Küstenregionen an Nord- und Ostsee zu diskutieren



10

... die wissenschaftsbasierte Information der Gesellschaft sicherzustellen.

DEN VOLLSTÄNDIGEN AUFRUF
MIT ERLÄUTERUNGEN UND
LITERATURHINWEISEN
FINDEN SIE UNTER:



KLIMAAUFRUF 2025

Ein gemeinsamer Aufruf der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft
und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

