
Globale Erwärmung beschleunigt sich

Ein Aufruf zu entschlossenem Handeln



Gemeinsamer Aufruf der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	3
Ausgangslage	3
Aussichten	4
Wissenschaftliche Hintergründe	4
Der natürliche Treibhauseffekt	4
Globale Kohlenstoffbilanz	4
Weitere wichtige Treibhausgase	5
Prognosen	5
Rückkopplungseffekte	5
Gefahren einer sich beschleunigenden Erwärmung	6
Kipppunkte	6
Warum der Klimawandel anders ist als andere Umweltprobleme	6
Negative Treibhausgasemissionen	7
Folgen des fossilen Zeitalters – Kosten und Gesundheitsrisiken	7
Wege aus der Nutzung fossiler Energieträger	8
Technologien zur nicht-fossilen Energienutzung	8
a. Solarenergie	9
b. Windenergie	9
c. Wasserkraft	9
d. Bioenergie	9
e. Geothermie	10
f. Meeresenergie	10
g. Kernenergie	10
Stromspeicher- und Netztechnologien	10
Energieeinsparung	10
Fazit	11
Literaturverzeichnis	14
Weitere Publikationen zu diesem Thema:	14

Einleitung

Die Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels sind mittlerweile unübersehbar und ihr Ausmaß droht unsere Anpassungsfähigkeiten zu überschreiten. Zudem mehrten 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.

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

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).

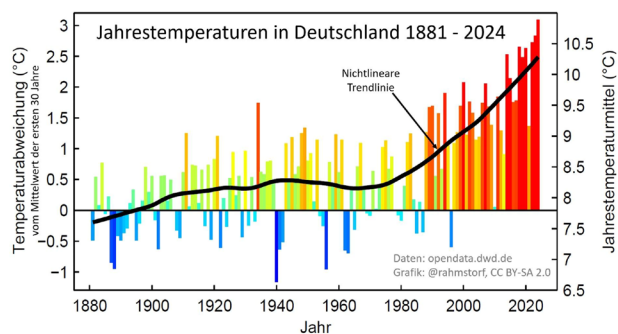
Ausgangslage

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.

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.

Jahrestemperaturen in Deutschland 1881 - 2024. Über die Zeit ist eine deutliche Zunahme der Temperatur hin zu höheren Temperaturen zu erkennen.

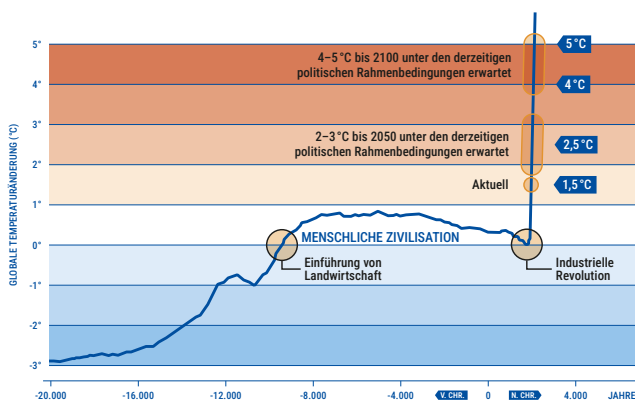


Jahrestemperaturen in Deutschland 1881 - 2024. Über die Zeit ist eine deutliche Zunahme der Temperatur hin zu höheren Temperaturen zu erkennen.

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

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] 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 verpflich-

tet 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 Jahrtausende 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 Atmo-

sphäre 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 CO_2 -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 CO_2 -Messungen [9], was auf eine verminderte Aufnahmefähigkeit der Biosphäre durch den Klimawandel hindeutet. Verdoppelt sich die CO_2 -Konzentration im Vergleich zum vorindustriellen Wert, steigt die globale Durchschnittstemperatur um etwa 2 bis 5 Grad. [10] 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] In diesem Fall wäre auch das verbleibende Restbudget an CO_2 -Emissionen deutlich geringer als bisher berechnet und CO_2 -Netto-Null (Klimaneutralität) müsste noch deutlich früher als bislang vermutet erreicht werden.

Weitere wichtige Treibhausgase

Für die Klimaerwärmung sind nicht allein CO_2 -Emissionen aus menschlichen Aktivitäten verantwortlich. Weitere wichtige, klimawirksame Spurengase sind:

- **Methan (CH_4)**, der Hauptbestandteil von Erdgas, hat auf 100 Jahre gerechnet eine ca. 28-mal höhere Klimawirkung als CO_2 . [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 (N_2O)**, auch als Lachgas bekannt, hat auf 100 Jahre gerechnet eine etwa 273-mal höhere Klimawirksamkeit als CO_2 . [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 CO_2 . [13] Sie verzeichnen die höchsten Zuwachsraten aller Treibhausgase. [15] Ihr Einsatz sollte noch konsequenter, als bisher von der Europäischen Union (EU) verordnet, einge-

schränkt 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 CO_2 -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] Eine mögliche Ursache hierfür ist die weltweite Reduktion von Schwefelemissionen, die in der Vergangenheit zu einer erhöhten Rückstrahlung von einfallender Sonnenstrahlung beitrugen. 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 feuchten 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 boden-

nahe 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 Hitzeperioden, 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.[1]

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 Geoenginee-

ring 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

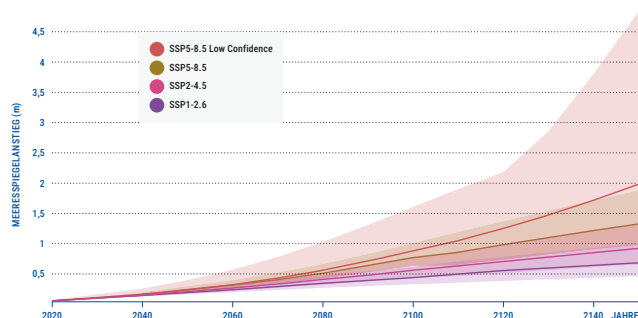
Je nachdem wie stark die globale Erwärmung voranschreitet, werden die klimawandelbedingten, volkswirtschaftlichen Schäden in Deutschland bereits bis zum Jahre 2050 auf insgesamt bis zu 900 Mrd. Euro geschätzt.[31] Auch mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen lassen sich die zu erwartenden Schäden einer 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 welt-

weiten 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.

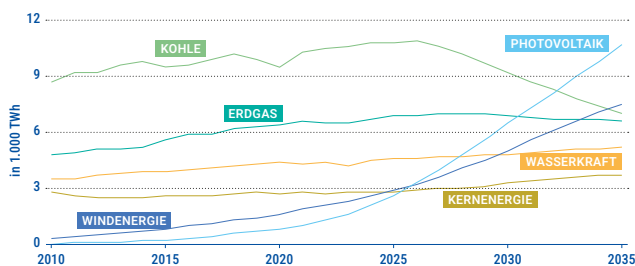
Eine schnelle und umfangreiche Transformation hin zu einer fossilfreien Energiewirtschaft ist dringend erforderlich, um die Folgen der globalen Erwärmung auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Die Förderung fossiler Energieträger und auch deren stoffliche Nutzung muss aus wissenschaftlicher Sicht umgehend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

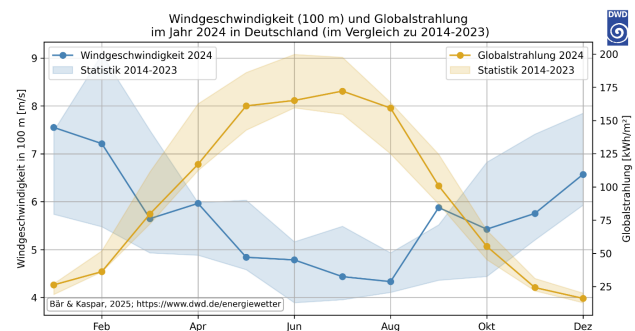
Im Folgenden werden stichwortartig Hinweise auf technische Lösungen gegeben, ohne jedoch einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:

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 Pumpspeicherkraftwerke. 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...



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



... 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.



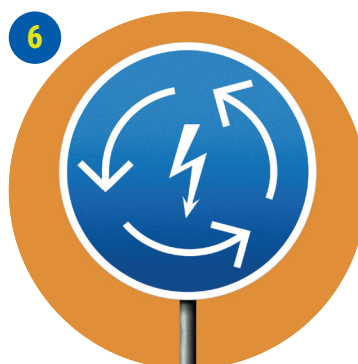
... in internationalen Verhandlungen konsequent für eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen unter Einhaltung der Vorgaben des Pariser Klimaabkommens einzutreten.



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



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



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



... 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.



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



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



... 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.

Beschlossen vom DMG-Präsidium 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-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.umwelttrat.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.umwelttrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_CO₂_Budget.html](https://www.umwelttrat.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>
- [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
- [7] 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>
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>
- [10] 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>
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>
- [11] Hinweise für eine Unterschätzung der Klimasensitivität im letzten IPCC-Bericht: a. Witkowski et al. (2024). Continuous sterane and phytane 513C record reveals a substantial pCO₂ decline since the mid-Miocene. *Nature Communications*, 15(1), 5192. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-07476-9>
b. Goessling et al. (2024). Recent global temperature surge intensified by record-low planetary albedo. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.adg7280>
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>
- [13] siehe u.a. Box 5.1. in 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>
- [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>
- [16] 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>
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.adg7280>
- [18] Copernicus Climate Change Services, European State of the Climate 2023, Sea surface temperatures, <https://climate.copernicus.eu/esotc/2023/sea-surface-temperature> – abgerufen am 21.12.24
- [19] Kapitel 4 im IPCC-AR6-WGI: Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fi-scher, 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. Yelekci, 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>
- [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>, abgerufen am 11.5.2025
- [22] Deutscher Wetterdienst, Nationaler Klimareport. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/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
- [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., Schenut, 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>
- [38] Pörtner, H.-O., et al., 2022: Technical Summary, [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, 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. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, 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/>
- [40] Rametal (2019). *GlobalEnergySystembasedon100%RenewableEnergy – Power, Heat, Transport and Desalination Sectors*. Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin, March 2019. ISSN: 2243-3376. https://energywatchgroup.org/wp/wp-content/uploads/2023/12/EWG_LUT_100RE_AllSectors_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
- [41] 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>
- [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>
- [43] Nijse, F.J.M.M., Mercure, J.F., 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>
- [44] 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>

Weitere Publikationen zu diesem Thema:

- [I] Mark Z. Jacobson, Danning Fu, Daniel J. Sarnbor, 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. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03427-0>
- [III] NASA Sea Level Projection Tool - Global Projection <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?type=global> - abgerufen am 24.08.2025
- [IV] Inspiriert von Marcus Wadsak, https://www.linkedin.com/posts/marcus-wadsak-272971272_time-to-act-is-now-klimawandel-activity-7205858639495016448-A7q9?originalSubdomain=de# Datenquelle: Shakun et al. *Nature* 2012 und Marcott et al. *Science* 2013; <https://climateemergencydeclaration.org/wp-content/uploads/2018/09/DontMentionTheEmergency2018.pdf>;
- [V] Bär, F., Kaspar, F.: *Energiewetter im Jahr 2024: Meteorologischer Jahresrückblick auf energierelevante Wetterelemente*. Deutscher Wetterdienst / BMDV-Experten-netzwerk, 2025. <https://www.dwd.de/energiewetter>