

Klimawandel zum Anfassen Klimaschutz zum Anpacken



Verein für Schule und Umwelt
am Ferdinand Porsche Gymnasium
Zuffenhausen e.V.



**»Wir heizen das globale Treibhaus auf« –
Ursachen und Szenarien der Erderwärmung**



**»Die Welt von morgen?« –
Folgen des Klimawandels**



**»Zeit, dass was passiert!« –
Klimaschutz**

Station 1 – 8

- 1 Es wird wärmer
- 2 Gas, nicht Glas:
Das globale Treibhaus
- 3 Wir treiben die Kurve in die Höhe
- 4 Die Treibhausgase holen sich
Verstärkung
- 5 Weil es wärmer wird,
wird es wärmer
- 6 Geringe Konzentration –
große Wirkung
- 7 Wir zinken die Wetterwürfel
- 8 Warm, heiß, heißer –
Welche Zukunft wollen wir?

Station 9 – 21

- 9 Hitze, Dürren, Feuer
- 10 Starkregen
- 11 Wird es stürmischer?
- 12 Gletscher schmelzen,
Berge rutschen
- 13 Alarm in der Arktis
- 14 Stirbt der Eisbär aus?
- 15 Zukunft des Nordatlantikstroms
- 16 Der Meeresspiegel steigt
- 17 Die Zukunft der Korallen
- 18 »Kuckuck, Kuckuck«
rief's aus dem Wald
- 19 Krank durch Klimawandel?
- 20 Wenn der Klimawandel
ins Galoppieren kommt!
- 21 Was kostet uns der Klimawandel?

Station 22 – 36

- 22 Die Erde kühlen –
Geo-Ingenieure als Klimaklempner?
- 23 Ausweg Anpassung –
an den Klimawandel anpassen?
- 24 Ausweg Klimaschutz –
Wer muss wieviel reduzieren?
- 25 Mit Luft handeln
oder mit Steuern steuern?
- 26 Mehr Energieeffizienz:
Das Beispiel Licht
- 27 Was bringt es, Energie effizient
und sparsam zu nutzen?
- 28 Intelligent wohnen
- 29 Intelligent konsumieren
- 30 Sollen wir jetzt alle vegan leben?
- 31 Über den Wolken grenzenlose
Freiheit?
- 32 Grüne Welle für Autos?
- 33 Auto-mobil ohne Auto
- 34 Fossile Zukunft?
- 35 Leugnen, zweifeln, verzögern –
Fossile Lobbyisten gefährden
unsere Zukunft
- 36 Unerschöpfliche Sonne
Schlussbetrachtung

Wanderausstellung

Klimawandel zum Anfassen – Klimaschutz zum Anpacken

Hier finden Sie die **Inhalte der Rollups 1–36** und die Schlussbetrachtung zur Wanderausstellung »Klimawandel zum Anfassen – Klimaschutz zum Anpacken«. Die vorletzte Seite zum persönlichen Fuß- und Handabdruck findet sich nicht in den Rollups.

Zu den 36 Stationen der Ausstellung gehören zudem Anschauungsobjekte und kleine Experimente.

Ziel der Ausstellung ist es, Menschen die immense Bedeutung der Themen Klimawandel und Klimaschutz anschaulich und lebendig, problem- und lösungsorientiert nahezubringen.

Gerne können Sie die Ausstellung ausleihen, nehmen Sie hierzu bitte über die Homepage Kontakt auf.

Viele der Informationen in der Ausstellung beruhen auf intensiven, jahrzehntelangen Forschungen von Klimawissenschaftler:innen, deren Arbeit großen Respekt verdient. Häufig wurden in Text und Abbildungen Erkenntnisse des **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** verwendet, bei uns auch als Weltklimarat bezeichnet. Die Aufgabe des IPCC besteht in der regelmäßigen Bereitstellung von Berichten über den aktuellen Wissensstand bezüglich des Klimawandels. Der IPCC forscht nicht selbst, sondern fasst die Aussagen zehntausender Veröffentlichungen in sogenannten Sachstandsberichten, den IPCC Assessment Reports, und Sonderberichten zusammen und bewertet sie aus wissenschaftlicher Sicht.

Bei den Abbildungen haben wir die Quellen angegeben. In den gründlich recherchierten Texten war dies aus Platzgründen leider nicht möglich. Die den Eingangszitaten jeder Station beigefügten Jahreszahlen dienen der groben zeitlichen Orientierung, sie sind nur bedingt belastbar.

Bitte haben Sie Verständnis, dass im Folgenden – wiederum aus Platzgründen – auf das Gendern verzichtet wird. In den Aussagen sollen alle Geschlechter mitgedacht werden.

Wer wenig Zeit zum Lesen hat: Die fünf wichtigsten Stationen / Kapitel Nr. 1, 8, 24, 35 und 36 haben wir mit grünen Balken gekennzeichnet.

Zum Autor: Dieter Bareis unterrichtet am FPGZ in Stuttgart Geographie und Mathematik.

Vielen Dank allen, die das Ausstellungsprojekt durch Korrekturlesen, Layout und Arbeit an den Ausstellungsobjekten unterstützt haben!

Die Klima-Ag des FPGZ hat einen Klimaquiz auf zwei Niveaus zu den einzelnen Stationen der Ausstellung erarbeitet, auch dafür vielen Dank!

Kontakt:

Ferdinand-Porsche-Gymnasium
Zuffenhausen (FPGZ)
Haldenrainstraße 137
70437 Stuttgart

Informationen, Mailkontakt und Zusatzmaterial:
www.klimaausstellung.de

Stuttgart, Juni 2026

Gefördert durch Heidehofstiftung

Heidehof
Stiftung



Die Erde hat jetzt Fieber – und das Fieber steigt.

Albert J. Gore, amerikanischer Politiker, 2007



■ Unser Klima ändert sich.

Die Atmosphäre und die Ozeane haben sich erwärmt, die Schnee- und Eismengen sind zurückgegangen, der Meeresspiegel ist angestiegen und Wetterextreme häufen sich. Dies hat zu weitverbreiteten Verlusten und Schäden für Natur und Menschen geführt. Verwundbare Bevölkerungsgruppen, die historisch am wenigsten zum aktuellen Klimawandel beigetragen haben, sind unverhältnismäßig stark betroffen.

Betrachtet man die Jahre bis 2025, zeigt sich: Die elf global wärmsten Jahre waren die elf Jahre von 2015 bis 2025. Das Jahr 2024 war das erste Jahr, in dem die globale Erwärmung im Vergleich zum noch kaum von der Industrie geprägten Zeitraum von 1850 – 1900 die $1,5^\circ\text{C}$ -Marke überschritten hat (Abb. 1). Auch für Europa und Deutschland war 2024 das wärmste Jahr seit Beginn der Temperaturaufzeichnungen. In Deutschland ist die Mitteltemperatur etwa doppelt so stark wie im globalen Mittel angestiegen, seit 1881 um $2,5^\circ\text{C}$. In 20 oder 30 Jahren wird man die derzeitigen mittleren Temperaturen jedoch ziemlich sicher als noch relativ kühl einstufen.

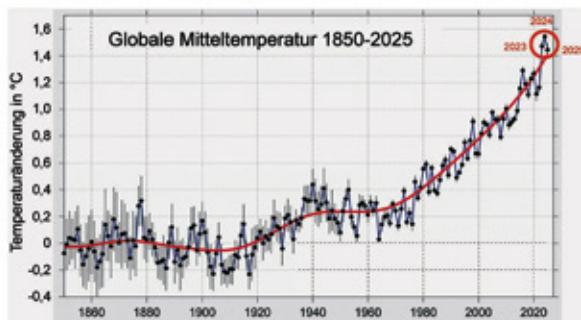


Abb. 1: Globale Mitteltemperatur 1850-2025 nach Daten von Berkeley Earth - verändert, übersetzt. Dargestellt sind die Jahresmittel der bodennahen globalen Lufttemperatur seit Beginn globaler instrumenteller Messungen als Abweichung vom Mittel der Jahre 1850 – 1900. Deutlich tritt eine Erwärmung in zwei Phasen von ca. 1910 bis 1940 und verstärkt seit den 80er Jahren hervor. Rot eine über mehrere Jahre gemittelte Temperaturkurve. Quelle: Berkeley Earth, R. Köhler (2023): Global Temperature Report for 2023, verändert, übersetzt. Lizenz: CC-BY-NC. <https://media.klimawandel.de/berkeley-earth-global-temperature-report-2023.pdf>

■ Die Hockeyschlägerkurve:

Die globale Temperaturkurve der letzten Zweitausend Jahre (Abb. 2) ähnelt in ihrem Verlauf einem waagrecht gehaltenen Hockeyschläger. Dessen Stiel veranschaulicht die Temperaturen bis etwa 1900, diese schwankten über viele Jahrhunderte nur geringfügig. Die Kelle versinnbildlicht die nach 1900 einsetzende starke Erwärmung. Anhand der Messdaten von Wetterstationen lässt sich die globale Temperatur erst ab etwa 1850 ermitteln. Für den Zeitraum davor ist man auf Klimaarchive angewiesen, etwa auf Eisbohrkerne (Abb. 3 – 4), Korallen, Baumjahresringe und historische Aufzeichnungen. Die jetzige globale Mitteltemperatur ist sehr wahrscheinlich die höchste seit rund 120.000 Jahren.

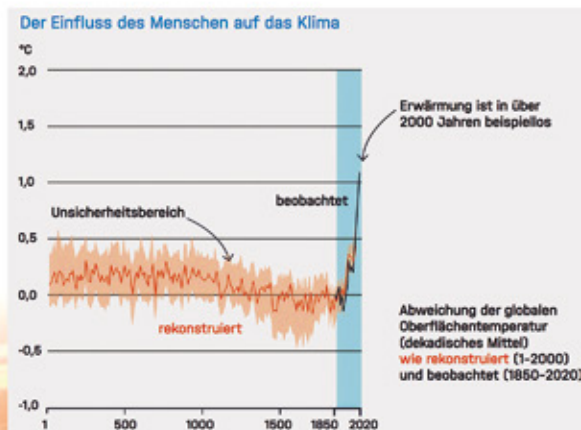


Abb. 2: Die Hockeyschlägerkurve: Abweichungen von der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur der Jahre 1850 – 1900, rekonstruiert aus paläoklimatischen Archiven (durchgezogene orange Linie, Jahre 1 – 2000) und aus direkten Beobachtungen (durchgezogene schwarze Linie von 1850 bis 2020). <https://www.klimawandel.de/klimawandel.de/berkeley-earth-global-temperature-report-2023.pdf> nach IPCC AR6 SRN2, modifiziert



Abb. 3: Eisbohrkern

<https://media.klimawandel.de/berkeley-earth-global-temperature-report-2023.pdf>



Abb. 4: Ein 90° gedrehter Eisbohrkern mit gut erkennbarer Schichtung.

Gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_core.jpg

Der fundamentale Unterschied zwischen Wetter und Klima:

- Unter **Wetter** versteht man den momentanen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche. Dieser tritt u. a. als Sonnenschein, Bewölkung, Regen, Wind, Wärme, Kälte und Luftdruck in Erscheinung. Der **Wetterablauf** ist chaotisch und nur für wenige Tage im Voraus **vorhersagbar**.
- Das **Klima** beschreibt die Statistik des Wetters über eine längere Zeit von z. B. 30 Jahren, ausgedrückt vor allem in **Durchschnittswerten**, etwa der Temperatur oder des Niederschlags und in Aussagen über deren Streuung. Aussagen zur Entwicklung des Klimas sind auch **langfristig möglich**: Der Sommer wird auch in fünfzig Jahren wärmer als der Winter sein. Gibt man eine mögliche zukünftige Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen vor, lassen sich Aussagen über den erwartbaren Klimawandel treffen (Station 8).

Fazit:

Die globale Mitteltemperatur hat sich in den letzten 150 Jahren um knapp $1,5^\circ\text{C}$ erhöht und übertrifft sehr wahrscheinlich bereits die Temperaturen der letzten 120.000 Jahre. Die zukünftige Entwicklung des Klimas als Statistik des Wetters ist in Klimaszenarien darstellbar.



Die Bewohner des Planeten Erde führen still-schweigend ein gigantisches Umweltexperiment durch. Die Folgen werden so gewaltig und dramatisch sein, dass dieses Experiment von jedem verantwortungsbewussten Gremium, das darüber zu befinden hätte, entschieden abgelehnt würde. Es läuft jedoch weiter, ohne dass irgendwelche Gerichte oder Staaten sonderlich viel dagegen unternehmen. Das Experiment ist die Freisetzung von CO₂ und anderen sogenannten Treibhausgasen in die Atmosphäre.

Wallace Broecker, *Pionier der Meeresforschung*, 2007

Versuch:

Sie sehen einen Glasbehälter, der von einer Lichtquelle angestrahlt wird. Vergleichen Sie die Temperatur im Behälter mit der Außentemperatur!

■ Der natürliche Treibhauseffekt

Im Treibhaus verringert die Glashülle den Wärmefluss nach außen und hält so das Innere warm. In der Erdatmosphäre wirken die Spurengase Wasserdampf, CO₂, Methan, Lachgas und Ozon in gewisser Weise wie ein **Treibhaus** und machen unsere Erde überhaupt erst zu einem bewohnlichen Planeten (vgl. Abb. 1). Die Erde absorbiert einen Teil der kurzwelligen Sonnenstrahlung, die vor allem aus sichtbarem und UV-Licht besteht, wandelt sie in langwellige Wärmestrahlung um und strahlt diese Richtung Weltall aus.

Treibhausgase nehmen diese Wärmestrahlung auf und strahlen einen Teil davon zurück zur Erde. Dank dieses **natürlichen Treibhauseffekts** ist es auf der Erde durchschnittlich statt -18°C etwa $+14^{\circ}\text{C}$ warm. Der Mensch verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt durch den Ausstoß von Treibhausgasen.

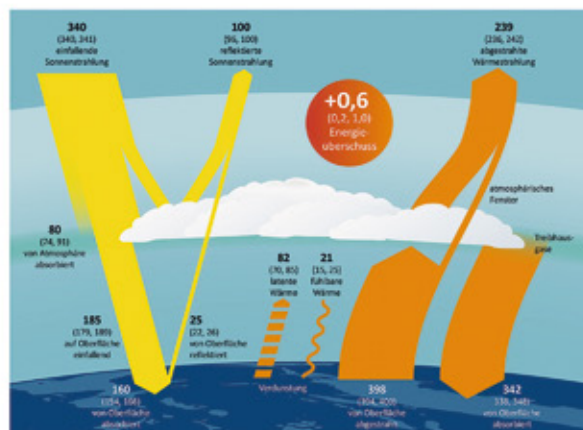


Abb. 1: Die Energiebilanz der Erde (Angaben in Watt/m^2). Wegen des Treibhauseffekts strahlt die Erdoberfläche mehr Wärmeenergie ab (398 Watt/m^2 in der Grafik), als die Sonne insgesamt an Energie an die Erde liefert (340 Watt/m^2). Die Menschen verstärken den natürlichen Treibhauseffekt, was zu einem Energieüberschuss von $0,6 \text{ Watt/m}^2$ führt, der u. a. die Erdatmosphäre aufheizt.

Grafik: Leptodire Fächerster Klimawandel (2012), CC BY-ND 4.0. Quelle: Wild et al. (2014), Lohr et al. (J. Clim. 2009), Trenberth et al. (GAPS 2009), <https://www.eur-geo.at/press/Infodienst/Infodienst-Steuer-und-Geografie/Infodienst-Steuer-und-Geografie>

■ **Menschen verstärken den Treibhauseffekt:**

Im Vergleich zur Periode 1850 – 1900 ist es schon im Zeitraum 2011 – 2020 auf der Erdoberfläche um etwa $1,1^{\circ}\text{C}$ wärmer geworden. Klimamodelle, die nur natürliche Ursachen, etwa Veränderungen in der Sonnenstrahlung und Vulkanausbrüche, berücksichtigen, können den Klimawandel ab den 70er Jahren nicht korrekt wiedergeben.

Dagegen erklären Klimamodelle, die natürliche und menschliche Ursachen, insbesondere die erhöhten Treibhausgaskonzentrationen, beinhalten, den Klimawandel gut (vgl. Abb. 2). Die beste Abschätzung des vom Menschen verursachten Beitrags zur Erwärmung ab 1951 entspricht laut IPCC in etwa der gesamten beobachteten Erwärmung.

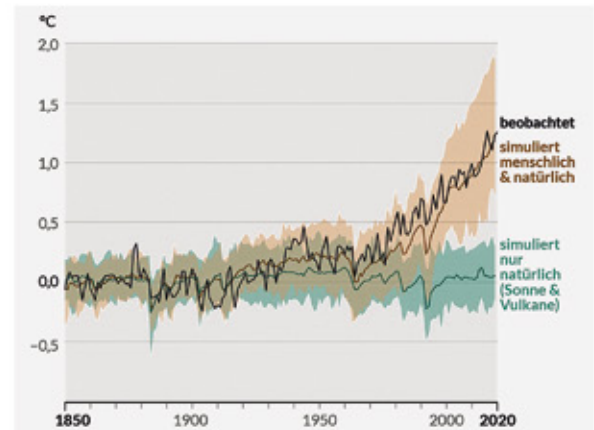


Abb. 2: Änderung der globalen Oberflächentemperatur (schwarze Linie) im Vergleich zum Mittel der Jahre 1850 – 1990 (graue Linie). Verschiedene Klimamodellierungen der Temperaturänderung sind farbige Linien dargestellt, die, wie auch natürlichen Antriebsfaktoren (braun) und infolge von ausschließlich natürlichen Antriebsfaktoren (Sonnen- und Vulkanaktivität, grün), die durchgezogenen farbigen Linien zeigen den Durchschnitt über mehrere Klimamodelle, farbige Flächen geben die sehr wahrscheinliche Bandbreite der Simulationen an.

Quelle: IPCC 2021, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Fazit:

Die Klimawissenschaftler des Weltklimarats IPCC stellen in ihrem sechsten Sachstandsbericht 2021 fest: »Es ist eindeutig, dass der Einfluss des Menschen die Atmosphäre, den Ozean und die Landflächen erwärmt hat«. Die Sicherheit in der Einschätzung hat gegenüber den Sachstandsberichten von 2001, 2007 und 2013 zugenommen, in denen noch von »wahrscheinlich«, »sehr wahrscheinlich« bzw. von »äußerst wahrscheinlich« anstelle von »eindeutig« die Rede war.



„Die Emission von Treibhausgasen [...] führt zur globalen Erwärmung in einem Tempo, das zu Anfang signifikant war, dann alarmierend geworden ist und langfristig unerträglich sein wird.“

Tony Blair, ehemaliger britischer Premierminister, 2005

Schätzen Sie!

Wie viel CO₂ entsteht, wenn man die 80 ml Benzin im ausgestellten Gefäß verbrennt? Betrachten Sie für die Antwort den ausgestellten schwarzen Karton.

CO₂ entsteht beim Verbrennen

CO₂ (Kohlenstoffdioxid) ist das wichtigste Treibhausgas, dessen Konzentration der Mensch erhöht hat. Wann immer wir mit Kohle, Erdöl oder Erdgas heizen, mit Diesel, Benzin, Super oder Gas Auto fahren, eine Flugreise unternehmen, aus fossilen Brennstoffen gewonnenen Strom nutzen oder Kunststoffe verbrennen, entsteht dabei das Treibhausgas CO₂, dessen Gehalt in der Atmosphäre dadurch zunimmt. Dieses Gas ist unsichtbar und geruchlos. Wäre das anders, hätte die Menschheit das Problem des Klimawandels womöglich längst gelöst!

Immer mehr CO₂:

Die Menschheit stößt immer mehr CO₂ aus, hauptsächlich, weil sie und die Wirtschaft wachsen und deshalb immer mehr fossile Rohstoffe verbrannt werden (Abb. 1).

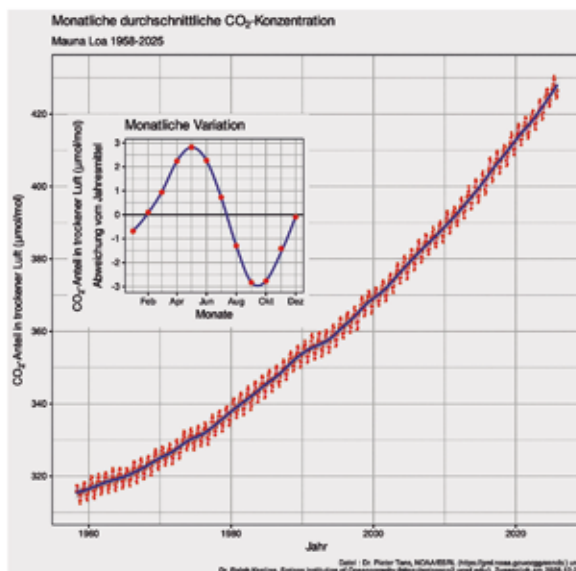


Abb. 1: Der monatliche CO₂-Gehalt der Atmosphäre in den Jahren 1958 bis 2025. Am Mauna-Loa-Observatorium auf Hawaii wird seit vielen Jahrzehnten die CO₂-Konzentration der Luft gemessen (Keeling-Kurve). Diese nimmt im Jahresmittel kontinuierlich zu, schwankt jedoch mit der Jahreszeit, weil Pflanzen auf den großen Landflächen der Nordhalbkugel während des Sommers viel CO₂ aufnehmen, das anschließend bei der Zersetzung von Laub etc. wieder freigesetzt wird.

Von Dorets - Eigenes Werk, Data from Dr. Fritzer Tans, NOAA/ES&O, and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php/File:Keeling1958-2016.jpg>

Die Konzentration von CO₂ wird in ppm (parts per million = Teile pro Million) gemessen und gibt an, wie viele CO₂-Moleküle sich unter einer Million Luftmoleküle befinden.

Die atmosphärische Konzentration an CO₂ hat sich wie folgt entwickelt:

- Sie ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm um gut die Hälfte auf etwa 430 ppm im Jahr 2026 angestiegen.
- Sie ist in den Jahren von 2011 – 2020 durchschnittlich um 2,4 ppm pro Jahr angestiegen, dreimal so stark wie in den 60er Jahren.
- Die CO₂-Konzentration übertrifft die aus Eisbohrkernen bestimmte natürliche Bandbreite der letzten 800.000 Jahre (180 bis 300 ppm) bei weitem (Abb. 2). Es gab auch Zeiten in der Erdgeschichte mit höherem CO₂-Gehalt: So lag im Erdmittelalter vor 265 – 65 Millionen Jahren die CO₂-Konzentration bei über 1000 ppm, die Erde war damals sehr warm, weitgehend eisfrei, und der Meeresspiegel lag um mehrere Zehnermeter höher als heute – das wäre keine erstrebenswerte Zukunft.

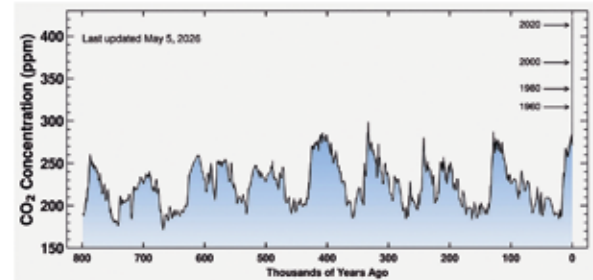


Abb. 2: Die CO₂-Konzentration der letzten 800 000 Jahre. Die Abbildung zeigt die atmosphärische CO₂-Konzentration im Wechsel von CO₂-armen Kalt- und CO₂-reichen Warmzeiten und am rechten Rand den vom Menschen verursachten jüngsten steilen Anstieg auf inzwischen etwa 430 ppm an, ein Wert, der wahrscheinlich in den letzten 20 Millionen Jahren nicht erreicht wurde.

<https://climate.nasa.gov/content/icecore/>

Laut IPCC ist weniger als die Hälfte der CO₂-Emissionen der vergangenen Jahrzehnte in der Atmosphäre verblieben. Den Rest (56%) haben zu ähnlich großen Anteilen die Vegetation und die Ozeane aufgenommen, wobei letztere dadurch saurer geworden sind (Abb. 3 und Station 17). Je höher die globale Temperatur in Zukunft ansteigen wird, desto geringer wird der Anteil an ausgestoßenem CO₂ sein, den Vegetation und Ozean noch aufnehmen werden.

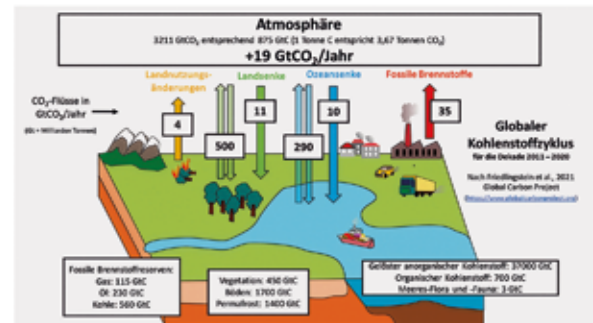


Abb. 3: Der globale Kohlendioxid-Kreislauf. Dargestellt sind jährlichen CO₂-Stoffströme in Mrd. t für das Mittel der Jahre 2011 – 2020. Die Verbrennung fossiler Rohstoffe und industrielle Prozesse verursachen ca. 35 Mrd. t CO₂, das Roden tropischer Regenwälder und andere Landnutzungsänderungen etwa 4 Mrd. t CO₂. Das ausgestoßene CO₂ wird z. T. vom Land und Ozean aufgenommen (11 bzw. 19 Mrd. t CO₂), etwas weniger als die Hälfte verbleibt langfristig in der Atmosphäre.

Daten: Global Carbon Project (GCP) <https://www.gcp-wgchems.org/2022/04/global-carbon-budget-2021/>

Verstärkt das Atmen den Treibhauseffekt?

Mit jedem Atemzug stoßen wir Menschen CO₂ aus. Dieses entsteht im Körper bei der Gewinnung von Energie aus zuvor aufgenommener Nahrung. Dieses CO₂ befindet sich in einem kurzen Kreislauf, denn Pflanzen hatten es zuvor aus der Luft aufgenommen, umgewandelt und z.B. als Zucker, Stärke oder Fett gespeichert.

Atmen führt deshalb anders als das Verbrennen fossiler Brennstoffe nicht zu einem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.

Fazit:

Das Treibhausgas CO₂ entsteht beim Verbrennen fossiler Energieträger. Seine Konzentration in der Atmosphäre ist von einem vorindustriellen Wert von 280 ppm auf etwa 430 ppm im Jahr 2026 angestiegen, den wahrscheinlich höchsten Wert seit mindestens 20 Millionen Jahren.



„Das Verhalten von Wasserdampf und Bewölkung im Klimasystem ist so teuflisch vertrackt, dass es Wissenschaftler immer wieder in erbitterte Kontroversen und mitunter an den Rand des Wahnsinns treibt. ... Man sollte sich vor simplen Zusammenhängen zwischen Wärme, Verdunstung, Wolkenbildung und Treibhauseffekten hüten wie vor schwarzen Mambas.“

Mans-Joachim Schellnhuber, Klimawissenschaftler, 2015

Versuch:

Trocknen Sie das grüne Tuch mit dem Föhn! Wie wird es am schnellsten trocken?

■ Das Treibhausgas Wasserdampf verstärkt den Treibhauseffekt

Das Mehr an CO_2 in der Atmosphäre heizt die Luft auf. Um ein Grad erwärmte Luft kann sieben Prozent mehr Wasserdampf enthalten (Deshalb trocknet man mit dem Föhn auf heißer Stufe am schnellsten). Das Problem dabei: Auch Wasserdampf wirkt als Treibhausgas und das heizt die Erde weiter auf. Man spricht von einer verstärkenden oder positiven Rückkopplung im Klimasystem.

■ Die Rolle der Wolken bei der Erderwärmung

Mehr Wasserdampf in der Luft kann zu mehr Bewölkung führen (Abb. 1), mit zwei entgegengesetzten Wirkungen:

- Die Wassertropfchen und Eiskristalle der Wolken wirken wie Treibhausgase, dadurch wird es wärmer, eine **verstärkende Rückkopplung**.
- Sie hemmen die Erderwärmung aber auch, indem sie einen Teil des Sonnenlichts zurück ins Weltall reflektieren. Dadurch erreicht weniger Sonnenlicht die Erdoberfläche und diese heizt sich weniger stark auf. Dies ist eine dämpfende, **negative Rückkopplung**.

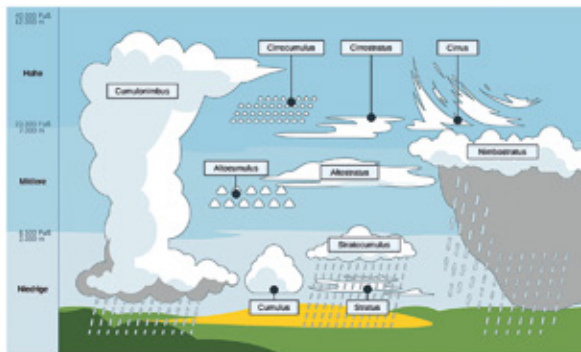


Abb. 1: Je nach Wolkentyp verstärken oder verringern Wolken die Erderwärmung
Von Cloud types en.org. Vektorielles Bild: Pixabay - Dieses Bild wurde von diesem Stock abgeleitet.
Cloud types en.org, CC-BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clouds-12031802>

Je nachdem, welcher Effekt vorherrscht, verstärken oder dämpfen Wolken den Treibhauseffekt:

- **Wolken in großer Höhe**, die Zirren (Abb. 2), lassen Sonnenlicht gut durch, absorbieren aber von der Erde ausgehende Wärmestrahlung. Sie **verstärken tendenziell den Treibhauseffekt**. Dies gilt auch für die Kondensstreifen von Flugzeugen (Station 31).

- **Tiefe, dicke Wolken dämpfen eher den Treibhauseffekt** (Abb. 3). Der Klimawandel beeinflusst die Bewölkung und verursacht dadurch eine zusätzliche Erwärmung. Die Wolken sind jedoch der größte **Unsicherheitsfaktor** bei der Abschätzung des zukünftigen Klimawandels.



Abb. 2: Zirren lassen Sonnenlicht gut durch, sie wirken bei Tage erwärmend.
Foto: Baris



Abb. 3: Gewitterwolken lassen Sonnenlicht schlecht durch, sie wirken bei Tage abkühlend.
Foto: Baris

Fazit:

Wird es wärmer, kann die Luft mehr Wasserdampf enthalten, der seinerseits als Treibhausgas die Erwärmung verstärkt (Selbstverstärkungseffekt). Hohe Wolken verstärken ebenfalls den Treibhauseffekt, tiefe dämpfen ihn.



„Die globale Erwärmung ist so schwerwiegend und so dringlich, weil das große irdische System, Gaia, in einem Teufelskreis positiven Feedbacks gefangen ist. Zusätzliche Wärme aufgrund jedweder Ursache [...] wird verstärkt, und das hat mehr als nur additive Auswirkungen.“

Tim Flannery, australischer Wissenschaftler und Autor, 2005

Versuch:

Sie sehen ein angestrahltes Geländemodell mit einer teilweise vergletscherten Landschaft. Messen Sie die Temperatur über dem hellen Gletscher und über den dunklen Flächen!



Abb. 1: Gletscher in den Alpen beim Ortler.
Foto: Stern

Unterschiedlich starke Reflexion und ihre Folgen:

Helle Flächen wie Schnee und Eis haben ein großes Rückstrahlvermögen (Albedo, Abb. 1 – 2): Sie reflektieren einen großen Teil des einfallenden Sonnenlichts zurück ins Weltall und absorbieren entsprechend wenig, so dass es weniger warm wird. Deshalb streichen die Menschen im Mittelmeerraum oft ihre Häuser weiß an.

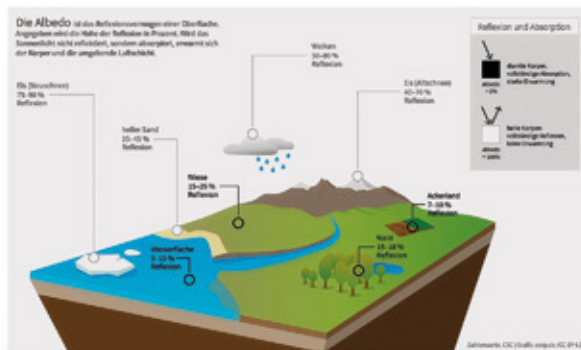


Abb. 2: Die Albedo (Reflexionsvermögen) verschiedener Oberflächen.
By enkiyo [Wikimedia Commons], "Albedo", CC BY 4.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albedo_IPCC_PSR_Chris_Vandenberg.jpg

Ein Selbstverstärkungseffekt:

Schmelzen infolge der Erderwärmung in den Polargebieten und Hochgebirgen Schnee und Eis, treten Meerwasser oder Gestein zutage, die vom Weltall aus dunkel erscheinen. Beide streuen weniger Sonnenlicht zurück. Dadurch wird es noch wärmer. Diese Eis-Albedo-Rückkopplung ist der Hauptgrund, weshalb die Arktis sich seit Mitte der 90er Jahre viermal so schnell erwärmt hat wie die Erde insgesamt.

Schadet Aufforstung?

Wälder binden Kohlenstoff, deshalb gelten Aufforstungen oft als Beitrag zum Klimaschutz. Wälder sind jedoch dunkel. Computersimulationen deuten darauf hin, dass außerhalb der Tropen bei Aufforstungen der Albedo-Effekt dominiert und es eher zu einer weiteren Erwärmung als zur Abkühlung kommt (Abb. 3). In den Tropen sorgt Aufforstung dagegen für besonders viele dichte Wolken und damit für Abkühlung.



Abb. 3: Schneeflächen haben eine hohe Albedo, die Nadelwälder dagegen eine geringe, sie wirken erwärmend.
Foto: Stern

Wie stark wirkt CO₂ samt seinen Rückkopplungen als Treibhausgas?

Verdoppelt sich die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre im Vergleich zum Beginn der Industrialisierung auf 560 ppm, würde sich die Erdoberfläche bei ansonsten unveränderten Bedingungen im Mittel um ca. 1,2°C erwärmen. Wegen der Rückkopplungen im Klimasystem, insbesondere der Wasserdampf-, der Wolken- und der Eis-Albedo-Rückkopplung, würde es laut IPCC wahrscheinlich jedoch um 2,5°C bis 4°C wärmer werden (Klimasensitivität des CO₂). Der beste Schätzwert beträgt 3°C.

Fazit:

Schmelzen Schnee und Eis, treten vom Weltall aus dunkel erscheinendes Meerwasser oder Gestein zutage. Beide streuen weniger Sonnenlicht zurück und es wird noch wärmer (Eis-Albedo-Rückkopplung, ein weiterer Selbstverstärkungseffekt). Vor allem deshalb hat sich die Arktis in den letzten Jahrzehnten viermal so schnell wie die gesamte Erde erwärmt. Verdoppelt sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre im Vergleich zur vorindustriellen Zeit, wird es langfristig im globalen Mittel aufgrund von Rückkopplungen um etwa drei Grad wärmer.



„Noch immer sind viele Details ungeklärt, wichtige Parameter nur grob bestimmt, ja, wesentliche Prozesse weitgehend unverständlich. Aber selbst im Halbblick der heutigen Erkenntnisse zeichnet sich in der Ferne eine Bedrohung ab, die fast allen, die sich mit dem Thema ernsthaft auseinandersetzen, den Atem stocken lässt: Es ist das Risiko eines unbegrenzten selbst verschuldeten Klimawandels, der die planetarische Umwelt [...] tiefgreifend umgestalten könnte.“

Hans Joachim Schellnhuber, Klimawissenschaftler, 2015

Schauen Sie durch den seitlichen Schlitz in den Karton.

Sie sehen die Kartoninnenfläche, die von einer Drei-Watt-Lampe bestrahlt wird. Die 1 m² große Kartoninnenfläche erhält von der Lampe so viel Energie wie jeder einzelne Quadratmeter der Erdoberfläche im 24-Stunden-Mittel zusätzlich durch die vom Menschen verursachte Klimaänderung (2,8 W/m²). Mehr Energiezufuhr bedeutet auch mehr Ausstrahlung, doch verbleibt ein Strahlungsüberschuss von knapp 1 Watt pro m². 91% dieses Energieüberschusses haben den Ozean erwärmt, 5% das Land, 3% lassen das Eis tauen und 1% erwärmt die Atmosphäre.

Ursachen für Klimaänderungen

Der gegenwärtige und prinzipiell jeder Klimawandel ist Folge von Änderungen der Energiebilanz des Klimasystems (Abb. 1 in Station 2). Dafür gibt es drei grundsätzliche Möglichkeiten:

- Die an der Atmosphärenobergrenze ankommende Sonnenstrahlung kann zu- oder abnehmen, wenn sich die Strahlungsintensität der Sonne oder die Erdbahnbahn verändert.
- Der in das All zurück gespiegelte Anteil der Sonnenstrahlung, die Albedo, kann sich ändern, wenn sich die Konzentration an Aerosolen ändert, das sind kleine Luftpartikel, z. B. Schwefeldioxidtröpfchen vulkanischen oder industriellen Ursprungs, oder wenn die Bewölkung oder die Helligkeit der Erdoberfläche zu- oder abnimmt. (Station 5).
- Die Konzentration an CO₂ und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre kann sich ändern (Station 3).

Klimafaktor Mensch

Der Mensch greift in das Klimasystem ein, indem er Treibhausgase und Aerosole freisetzt und die Albedo der Erdoberfläche zudem durch Landnutzung verändert. Damit beeinflusst er die globale Energiebilanz: Er verändert den Strahlungsantrieb (in Watt pro m²) und damit die globale Oberflächentemperatur. Vergleicht man die Jahre 2010 bis 2019 mit 1850 bis 1900, zeigt sich: Die Beiträge des Menschen führten zu einer Erderwärmung von 1,1°C (0,8 – 1,3°C), was der gemessenen Erwärmung entspricht. Die Treibhausgase CO₂, Methan, Lachgas und Halogenkohlenwasserstoffe verursachten eine Erwärmung von 1,0 bis 2,0°C, andere menschengemachte Antriebsfaktoren, hauptsächlich Aerosole, sorgten für eine Abkühlung von 0,0°C bis 0,8°C.

Unsicherheitsfaktor Aerosole

Menschen verursachen Emissionen von Schwefeldioxid (SO₂), organischem Kohlenstoff, Mineralstaub, Ammoniak und Ruß, den so genannten Aerosolen. Diese stellen die dominierende Unsicherheit im Strahlungsantrieb dar. Unumstritten ist ihr kühlender Effekt. Vom Weltall aus betrachtet erhöhen die meisten Aerosole die Helligkeit der Erde, mehr Sonnenlicht wird in den Weltraum zurückgestreut, die Erdoberfläche kühlt ab. Das Aerosol Ruß wirkt unmittelbar erwärmend. Aerosole führen als Kondensationskeime zu mehr und feineren Tröpfchen bei der Bildung von Wolken. Diese werden dadurch heller und reflektieren ebenfalls mehr Sonnenstrahlen ins Weltall. Lufttrübung und Wolkenbildung durch Aerosole maskieren also einen Teil der globalen Erwärmung (Abb. 1).

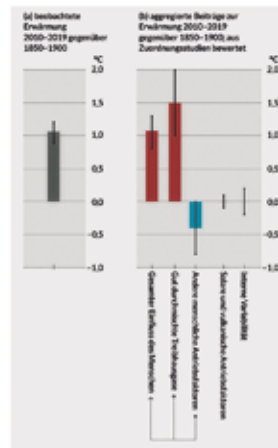


Abb. 1: Beiträge zur beobachteten Erwärmung in den Jahren 2010-2019 gegenüber 1850-1900. Tafel (a) zeigt die beobachtete globale Erwärmung. Die Antenne zeigt die sehr wahrscheinliche Bandbreite. Tafel (b) zeigt Temperaturveränderungen, die folgenden Faktoren zugeordnet werden:
1.) dem gesamten Einfluss des Menschen,
2.) Konzentrationsänderungen von gut durchmischten Treibhausgasen (vor allem CO₂, Methan, Lachgas und halogenierte Gase),
3.) weiteren Einflüssen des Menschen, insbesondere dem Ausstoß von Aerosolen. Kaum eine Rolle spielen
4.) der Einfluss der Sonne und von Vulkanen und
5.) natürliche Schwankungen (z.B. El Niño). Die Antennen geben die wahrscheinlichen Bandbreiten an.
AR6-WGI Abbildung 1.1.1.2 <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgi/figure>

Ist es der Mensch oder doch die Sonne?

Natürliche Faktoren, insbesondere Sonnenfleckenaktivität und Vulkanausbrüche, veränderten die globale Oberflächentemperatur in den Jahren 2010 bis 2019 im Vergleich zu 1850 bis 1900 um lediglich -0,1°C bis +0,1°C, interne Schwankungen, insbesondere das 'El-Niño-Phänomen' um -0,2°C bis +0,2°C. In den Jahren von 1978 bis 2024, dem Zeitraum der bis dahin stärksten Erwärmung, hat die Sonne nichts zur Erwärmung beigetragen (Abb. 2).

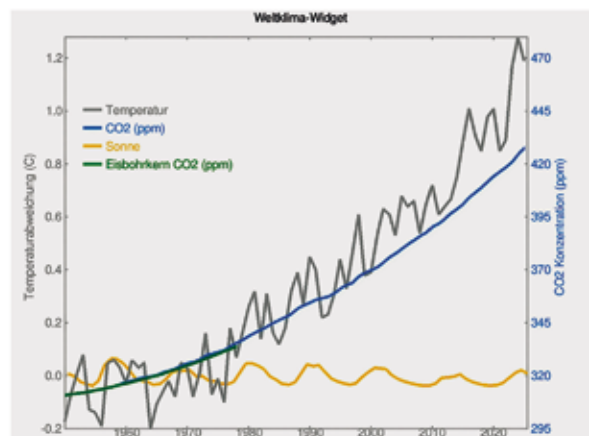


Abb. 2: Globale Temperatur, CO₂-Konzentration und Sonnenaktivität von 1950 bis 2025. Die Temperatur ist angegeben als Abweichung vom Mittel der Jahre 1951 – 1980. Die Sonnenaktivität vermag den aktuellen Klimawandel nicht zu erklären.
<http://berndhoff.com/complete/climatechange.php>

Fazit:

Im Zeitraum von 2010 – 2019 haben die Menschen die Erde im Vergleich zu 1850 – 1900 um ca. 1,1°C erwärmt. Die langlebigen Treibhausgase haben hierzu im Bereich von 1,0°C bis 2,0°C beigetragen, die anderen von Menschen verursachten Faktoren einschließlich der Aerosole haben eine Temperaturänderung im Bereich von -0,8°C bis 0,0°C bewirkt. Aerosole maskieren einen Teil der Erderwärmung. Der Beitrag natürlicher Antriebe, etwa der Einfluss der Sonne, ist unbedeutend.



„Am besten vergleicht man den Einfluss des Menschen auf das Klima mit einem gezinkten Würfel.“

Mojib Latif, Klimaforscher, 2007

Machen Sie den Würfeltest!

Ist der vorliegende Würfel regulär oder wurde er gezinkt, also manipuliert, so dass er mehr Sechsen liefert? Finden Sie es heraus! Falls Sie hier keinen Würfel vorfinden, erhalten Sie ihn bei der Aufsicht.

Was hat der Klimawandel mit einem gezinkten Würfel zu tun?

Der Klimawissenschaftler Mojib Latif vergleicht den Einfluss des Menschen auf das Wetter mit dem Zinken eines Würfels, der dadurch mehr Sechsen hervorbringt. Beim ungezinkten Würfel ist die Wahrscheinlichkeit, eine Sechse zu würfeln, ein Sechstel. Der nicht gezinkte Würfel entspricht dem vom Menschen unbeeinflussten Klima. Dieses sorgte auch in der vorindustriellen Zeit gelegentlich für Wetterextreme, die wir mit dem Klimawandel in Verbindung bringen, z. B. Hitzewellen (Abb. 1), milde Winter, Starkregen oder Dürren. Der Ausstoß von Treibhausgasen entspricht dem Zinken des Würfels, es gibt dadurch mehr Extremwetter, so, wie der gezinkte Würfel mehr Sechsen hervorbringt. Bei zunehmendem Klimawandel ist zudem mit bisher noch nie beobachteten Wetterextremen zu rechnen, was dem Würfeln einer Sieben entsprechen würde.



Abb. 1: Hitzewelle in Krakau
Foto: CC BY-SA 4.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2015_Hitzewelle_in_Krakau_2014.jpg

Die Analogie zum gezinkten Würfel verdeutlicht, dass es nicht möglich ist, ein einzelnes Wetterextrem dem menschengemachten Treibhauseffekt zuzuschreiben, etwa den Starkregen im Ahrtal im Juli 2021 oder den west- und mitteleuropäischen Jahrtausendsommer 2003 mit 70.000 vorzeitigen Sterbefällen. Genauso wenig wie man eine einzelne gewürfelte Sechse dem Zinken des Würfels zuordnen kann. Denn auch ein normaler Würfel liefert gelegentlich eine Sechse. Es ist die Häufung extremer Wetterereignisse, die man dem vom Menschen gemachten Treibhauseffekt zuordnen kann.

Der Klimawandel macht Extremwetter häufiger und heftiger

Ereignet sich ein Extremwetter, stellen sich im Zusammenhang mit dem Klimawandel zwei Fragen: »Um wieviel ist das Extremwetterereignis aufgrund des Klimawandels wahrscheinlicher geworden?« und: »Um wieviel stärker ist das Extremwetterereignis aufgrund des Klimawandels ausgefallen?« (Abb. 2)

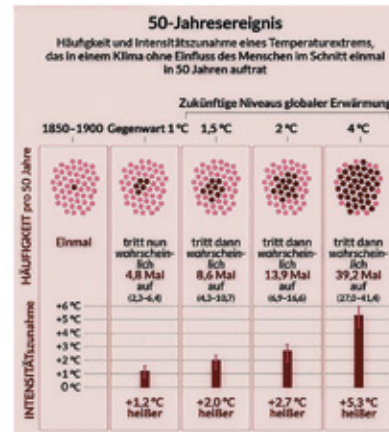


Abb. 2: Projizierte Änderungen der Intensität und Häufigkeit von heißen Temperaturextremen (50-Jahres-Ereignisse) über Land.

Lebensbeispiel: Ein Hitzestorm, das ohne Klimawandel nur einmal in 50 Jahren auftritt (Fünfzig-Jahres-Ereignis), tritt bei einer globalen Erwärmung um 2°C vierzehnmal in 50 Jahren auf, bei einer Erwärmung um 4°C fast jedes Jahr. Eine einmal in 50 Jahren vorkommende Extremhitze ist bei 2°C globaler Erwärmung 2,7°C heißer als sie ohne Klimawandel wäre.

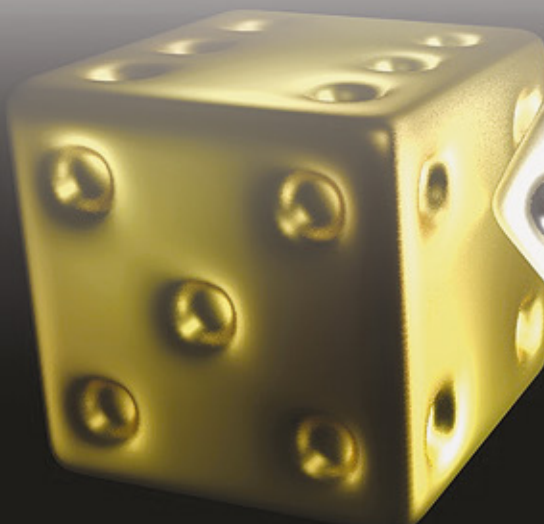
<https://www.de-ipcc.de/500.php>

Schon heute erhöht der Klimawandel das Risiko für extremes Wetter und gefährdet so Menschen. Ein Beispiel: In der Siedlung Lytton in British Columbia wurde am 29. Juni 2021 die höchste Temperatur in der Geschichte Kanadas gemessen, unglaubliche 49,6°C. Ein Waldbrand – begünstigt durch die Rekordhitze und die Trockenheit – vernichtete den größten Teil des Dorfs. Eine Zuordnungsstudie ergab: Der Klimawandel hat diese Hitzewelle mindestens 150mal wahrscheinlicher gemacht.

In Europa sind Hitzewellen (Station 9) die tödlichste Gefahr, die mit dem Klimawandel verbunden ist. Im Sommer 2025 starben allein in den Städten Europas hitzebedingt knapp 25.000 Menschen, zwei Drittel dieser Todesfälle führt eine Attributionsstudie auf den Klimawandel zurück. Eine weitere solche Studie zeigt: Menschengemachte Treibhausgase haben global alle 213 untersuchten Hitzewellen der Jahre 2000 bis 2023 intensiviert und 55, also etwa ein Viertel, mindestens 10.000-fach wahrscheinlicher gemacht. Ohne Klimawandel hätte es diese höchst wahrscheinlich gar nicht gegeben. Der Klimawandel sorgt vielerorts auch für häufigere und intensivere Starkregen und Dürren (Station 10).

Fazit:

Ähnlich wie beim Würfeln durch das Zinken die Wahrscheinlichkeit für eine Sechse zunimmt, werden durch mehr Treibhausgase in unserer Atmosphäre Wetterextreme wie Hitzewellen, Hitzewellen, Starkregen und in manchen Regionen auch Dürren häufiger und zudem heftiger. Jedes zusätzliche halbe Grad an globaler Erwärmung führt laut IPCC zu deutlich erkennbaren Zunahmen der Häufigkeit und Intensität von Wetterextremen. »Manche Extremereignisse, die in Beobachtungsdaten noch nie verzeichnet wurden, werden bei zusätzlicher globaler Erwärmung häufiger auftreten, selbst bei einer Erwärmung von 1,5°C«.



„Viele Menschen glauben, dass die Bedrohung durch den globalen Klimawandel eine theoretische Möglichkeit ist, die sich aus unsicheren Modellrechnungen ergibt. Gegenüber solchen Modellrechnungen haben sie ein verständliches Misstrauen [...]. Manch einer glaubt gar, wenn die Computermodelle fehlerhaft sind, dann gibt es vielleicht gar keinen Grund zur Sorge über den Klimawandel. Dies trifft jedoch nicht zu. Die wesentlichen Folgerungen über den Klimawandel beruhen auf Messdaten und elementarem physikalischen Verständnis. Modelle sind wichtig und erlauben es, viele Aspekte des Klimawandels detailliert durchzurechnen. Doch auch wenn es gar keine Klimamodelle gäbe, würden die Klimatologen vor dem anthropogenen Klimawandel warnen.“

Stefan Rahmstorf und Hans Joachim Schellnhuber, Klimawissenschaftler, 2006

Denken Sie nach!

Vor Ihnen stehen zwei Sanduhren. In welcher könnte eine Ameise am Gefäßboden das Herunterströmen von Sand aus dem oberen Behälter überleben?

Vom Emissions- zum Klimaszenario

Da niemand weiß, wie viel an Treibhausgasen die Menschheit in Zukunft ausstoßen wird, stellen Klimawissenschaftler Emissionsszenarien auf, die auf unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung der Menschheit beruhen, etwa im Blick auf die Bevölkerungszahl, den Energiebedarf und das Ausmaß an Klimaschutz. Mit diesen Daten wird, basierend auf Klimamodellen, unter enormem Rechenaufwand die Entwicklung des Klimas bis 2100 untersucht. Generell gilt, dass bei gegebenen Emissionspfaden globale Klimaberechnungen zuverlässiger als regionale sind, langfristige zuverlässiger als kurzfristige und Aussagen zur Temperatur zuverlässiger als solche zu Niederschlägen.

Die Klimaprojektionen

Je nach Emissionsszenario (Abb. 1) ergeben sich unterschiedliche Verläufe der mittleren globalen Temperaturen bis zum Jahr 2100 (Abb. 2).

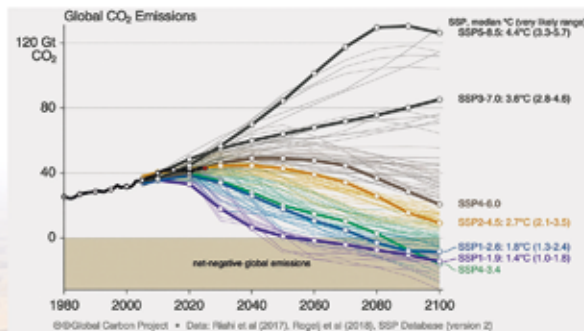


Abb. 1: Emissionsszenarien des Weltklimarats IPCC. Angegeben sind für unterschiedliche Szenarien die jährlichen CO₂-Emissionen in Mrd. t für die Jahre 2015 bis 2100 aus dem Verbrennen fossiler Energieträger und Landnutzungsänderungen. Die schwarze Kurve zeigt die historischen CO₂-Emissionen bis 2015, ab der Wert auf 42 Mrd. t CO₂ angegeben ist. Rechts ist hinter den Bezeichnungen der einzelnen Szenarien jeweils die mittlere Erwärmung für den Zeitraum 2061 – 2100 und eine sehr wahrscheinliche Spanne der Erwärmung angegeben.

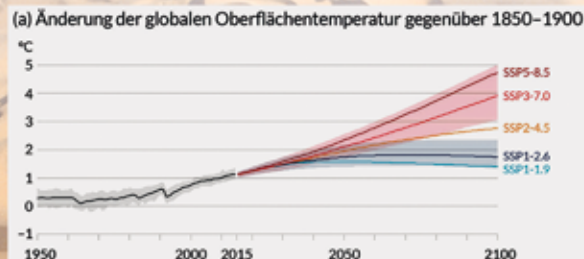


Abb. 2: Mittlere globale Erdoberflächentemperatur in den Jahren von 1950 bis 2100 als Abweichung zum Zeitraum 1850 bis 1900 für fünf Klimaszenarien. Für die Szenarien SSP-1.9 (blau) und SSP-2.6 (grün) ist zudem ein Maß für die Unsicherheit (Schattierung) dargestellt. Schwarz mit grauer Schattierung ist die modellierte historische Entwicklung.

Die beste Schätzung für das sehr anspruchsvolle Klimaschutz-Szenario SSP1-1.9 ist eine Erwärmung im Zeitraum 2081 bis 2100 um 1,4°C gegenüber dem Zeitraum 1850 bis 1900. Der sehr wahrscheinliche Bereich liegt dabei zwischen 1,0°C und 1,8°C. Damit entspricht dieses Szenario den Klimabeschlüssen von Paris, wonach die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst sogar auf 1,5°C zu beschränken ist. Beim Szenario SSP5-8.5 ergibt sich bei weiter stark steigenden Treibhausgasemissionen im selben Zeitraum eine Erwärmung um 4,4°C bei einer Bandbreite von 3,3°C bis 5,7°C. Die Kontinente und besonders die Arktis erwärmen sich am stärksten, jedoch abhängig vom jeweiligen Szenario in unterschiedlichem Ausmaß (Abb. 3).

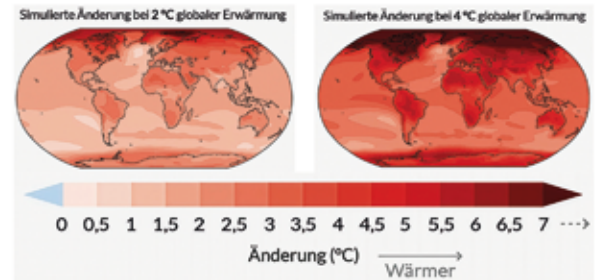


Abb. 3: Karten der Erwärmung für die Jahre 2081-2100 im Vergleich zu 1856-2005, beruhend auf einer globalen Erwärmung um 2°C (links) und 4°C (rechts).

Der Temperaturanstieg verläuft außergewöhnlich schnell

Im Laufe des 21. Jahrhunderts könnte die Temperatur im globalen Mittel im Extremfall um 5°C ansteigen. Dies entspräche annähernd dem Temperaturanstieg nach der letzten Eiszeit, der sich jedoch in einem Zeitraum von etwa 8000 Jahren vollzog. Der gegenwärtige Klimawandel verläuft also je nach Klimapolitik bis zu 80mal schneller. Ausmaß und Geschwindigkeit könnten sich drastisch auf Menschen und Natur auswirken, bis hin zum verbreiteten Mangel an Nahrung und Trinkwasser, dem Zusammenbruch von Volkswirtschaften und Staaten und dem Aussterben zahlreicher Arten. Man kann das mit einer Ameise am Boden einer Sanduhr vergleichen, die verschüttet wird, wenn zu viel Sand auf sie niedergeht.

Die Szenarien des IPCC

Der Weltklimarat IPCC hat fünf illustrative Szenarien definiert, die die Bandbreite der möglichen zukünftigen klimawirksamen Emissionen abbilden. Je nach Szenario können die CO₂-Emissionen weiter steigen und im Jahr 2100 doppelt bis dreimal so hoch wie heute sein (SSP 3-7.0 und SSP5-8.5), oder (in SSP1-2.6 und SSP1-1.9) schon in den 20er Jahren deutlich sinken und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts sogar unter Null t CO₂ liegen. Die Menschen entfernen dann mehr CO₂ aus der Atmosphäre als sie ihr neues hinzufügen. Negative Emissionen kann man erreichen, indem man z. B. Biomasse zur Energiegewinnung nutzt und das dabei entstehende CO₂ mit hohen Kosten abfängt und unterirdisch lagert. Dass das Extrem-Szenario SSP5-8.5 eintreten könnte, gilt inzwischen als wenig plausibel, da der globale Hochlauf der erneuerbaren Energien schneller als einst erwartet vorankommt (Station 36). Man beachte jedoch die Wirkung von Kippelementen (Station 20).

Fazit:

In den letzten beiden Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts wird es im globalen Mittel abhängig vom Erfolg von Klimaschutzanstrengungen voraussichtlich 1,0°C bis 5,7 °C wärmer sein als zu Beginn der Industrialisierung. Die Erwärmung könnte ein Ausmaß wie beim Übergang von der Eiszeit zur Warmzeit erreichen, würde aber bis zu achtzig Mal schneller ablaufen, was mit hohen Risiken für Menschen, Gesellschaften und Ökosysteme verbunden wäre.





Die Auswirkungen des Klimawandels werden sich am unmittelbarsten und akutesten durch Wasser bemerkbar machen.

Global Center for Adaptation, 2026



Bestimmen Sie die Kühlgrenztemperatur im Raum

Schwingen Sie das Aspirations-Psychrometer. Es besteht aus zwei Thermometern, eines ist in ein feuchtes Material gehüllt. Die am Feuchthermometer gemessene »Kühlgrenztemperatur« ist, weil hier Wasser verdunstet und für Abkühlung sorgt, in der Regel niedriger als die gemessene »Trockentemperatur«. Die Höhe der Kühlgrenztemperatur ist wichtig für die Hitzeregulierung des menschlichen Körpers.

■ Hitze

Die globale Erwärmung sorgt für mehr und intensivere Hitzewellen (Station 7). Manche Gebiete der Erde werden dann unbewohnbar sein, falls man sich nicht die meiste Zeit in klimatisierten Räumen aufhalten wird (Abb. 1). Denn sind Temperatur und Luftfeuchtigkeit hoch, schafft es der menschliche Körper nicht mehr, seine Kerntemperatur (im Körperinnern) auf das erträgliche Maß von 36°C bis 37,5°C herunterzukühlen. Wird uns zu warm, leitet unser Körper vermehrt Blut in die Haut, damit dieses dort abkühlt. Reicht das nicht aus, beginnen wir zu schwitzen. Das sorgt für Verdunstungskälte, Haut und Körper kühlen ab. Jedenfalls dann, wenn genügend Schweiß zur Verdunstung bereitsteht (deshalb bei Hitze viel trinken!) und dieser auch tatsächlich verdunsten kann, was bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit und Windstille erschwert ist. Im besten Fall kann die Haut bis zur Kühlgrenztemperatur abkühlen, die mehrere Grad niedriger als die Außentemperatur sein kann. Liegt aber selbst die Kühlgrenztemperatur bei 35°C oder mehr, ist das für Menschen nach kurzer Zeit tödlich.

Städtische Gebiete heizen sich besonders stark auf und kühlen nachts weniger als das Umland ab (städtischer Wärmeinseleffekt), die Wärmebelastung ist dort erhöht. Besonders gefährdet sind Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20°C sinkt. Der Körper kann sich dann im Schlaf nicht ausreichend regenerieren.

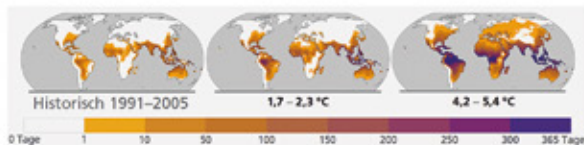
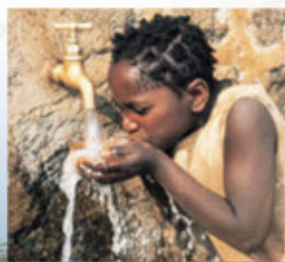


Abb. 1: Risiken für die menschliche Gesundheit aufgrund von Hitze und hoher Luftfeuchtigkeit. Dargestellt ist die Anzahl an Tagen pro Jahr, an denen die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen zusammen ein Sterberisiko für Einzelne aufgrund von Überhitzung darstellen. Die gesundheitlichen Folgen von Hitze hängen auch von sozialen und ökonomischen Faktoren ab. IPCC AR6 WGII AR6, SPM 3 (2) <https://www.ipcc.org/ar6/srm/>

■ Dürren

Der Klimawandel begünstigt und verstärkt das Auftreten von Dürren auf zweierlei Weise: Luft kann pro °C Erwärmung 7% mehr Wasserdampf aufnehmen. Der »Wasserdampfheber« der Luft nimmt deshalb mit steigender Temperatur zu und lässt Böden austrocknen (Abb. 2). Ausgetrocknete Böden lassen die Temperaturen noch höher steigen, weil es an Verdunstungskälte fehlt. Und Regionen mit Niederschlagsmangel erhalten in Zukunft tendenziell noch weniger Niederschläge, z. B. der Mittelmeerraum, der Südwesten der USA und das südliche Afrika (Abb. 3). Es drohen Wassermangel, Missernten und Konflikte. Ein Beispiel: Der Bürgerkrieg in Syrien begann 2011 nach der schlimmsten Dürreperiode seit womöglich 900 Jahren. Bis zu 1,5 Millionen Menschen, vor allem verarmte Bauern, zogen arbeits- und perspektivlos und von der Regierung im Stich gelassen in die Slums der Städte. Schon heute haben 40% der Weltbevölkerung an mindestens einem Monat im Jahr nicht genug Wasser, bis 2050 könnten es 5 Milliarden Menschen sein.



Dürren können zu Wassermangel führen



Abb. 2: Schrägungsrisse aufgrund von Trockenheit im Schepflecher Moor östlich von Stuttgart am 14.05.2023. Moore sind Gebiete, die eigentlich dauernd feucht sind. In Deutschland kommt es immer wieder zu Dürren, der Grundwasserspiegel ist hier in den letzten Jahren weitläufig gesunken. Foto: Bawos

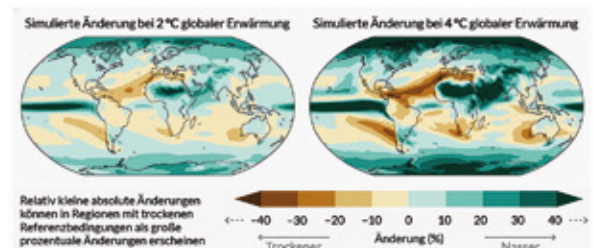


Abb. 3: Mittlere jährliche Niederschlagsänderung (%) gegenüber 1850–1900 bei 1,5°C bzw. 4°C globaler Erwärmung. In den mit Braunkohle geschützten Gebieten nimmt die Gefahr von Wassermangel deutlich zu. IPCC AR6 WGII AR6, SPM 3 (2) <https://www.ipcc.org/ar6/srm/>

■ Feuer

Bei perfektem Feuerwetter mit Hitze, Dürre und starkem Wind brachen im Januar 2025, eigentlich mitten in der Regenzeit, in und um Los Angeles verheerende Waldbrände aus. Davor hatte es seit acht Monaten kaum geregnet. Mindestens 30 Menschen kamen ums Leben, mehr als 16.000 Gebäude wurden zerstört und über 200 km² Fläche brannte aus (Abb. 4–5). Die Schäden werden auf bis zu 250 Mrd. Dollar geschätzt, womit die Brandkatastrophe womöglich die teuerste Naturkatastrophe in der Geschichte der Vereinigten Staaten ist. Eine Attributionsstudie ergab, dass der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit für die Brandbedingungen um etwa ein Drittel erhöht hat. Die Erderwärmung lässt laut einer anderen Studie einen exponentiellen Anstieg besonders extremer Wald- und Flurbrände erwarten.



Abb. 4: Brennende Wälder im Palisades Fire, das im Januar 2025 in Los Angeles begann. Von CNN, PBS, Official - Palisades Fire, Getty Images, <https://www.gettyimages.com/detail/photo/palisades-fire-2025-01-15/1707028>



Abb. 5: In Flammen stehende Berggrücken im Hurst Fire im Januar 2025 bei Los Angeles. P. Rivera, CC BY 4.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurst_Fire_2025-01-15.jpg, via Wikimedia Commons

Fazit:

Heute lässt sich etwa ein Prozent aller Todesfälle weltweit auf Hitze zurückführen, das sind fast so viele, wie an Malaria sterben. Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist für einen von drei Hitzetoten (37%) verantwortlich. In Zukunft könnten aufgrund hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit großflächig Gebiete unbewohnbar werden, insbesondere in den Tropen. Steigende Temperaturen lassen Böden austrocknen, zumal, wenn sie mit abnehmenden Niederschlagsmengen einhergehen. Dies erhöht die Gefahr von Wassermangel, Missernten, Hungersnöten und Waldbränden.





**Solche Naturgewalten
sind nicht beherrschbar.**

Frank Harsch, Bürgermeister von Braunsbach/ Baden-Württemberg,
nach der Sturzflut vom 29.05.2016



■ Hochwasser im Ahrtal

Das Tiefdruckgebiet Bernd bewegte sich sehr langsam auf Deutschland zu und hatte deshalb viel Zeit, im Mittelmeerraum feuchtwarmer Luft aufzunehmen. Am 14. Juli 2021 brachte es im Gebiet der Flüsse Ahr und Erft enorme **Niederschläge von 100 bis 200 Liter pro Quadratmeter** mit. Das Zusammenwirken extremer Regenfälle, steiler Hänge, enger Täler, ausgedehnter Flächenversiegelung und verstopfter Entwässerungssysteme ließ Flüsse und Bäche gleich mehrere Meter über die Ufer treten. Mehr als 180 Menschen starben, 9.000 Häuser sowie Straßen, Brücken und 600 km Gleise wurden zerstört (Abb. 1). Die Schäden in Deutschland wurden auf **33 Milliarden Euro** geschätzt. Eine Zuordnungsstudie zeigte anhand von Klimasimulationen, dass der eintägige Starkregen verglichen mit einem nicht vom Menschen erwärmten Planeten 3 bis 19 % mehr Niederschlag lieferte.



Abb. 1: Das Hochwasser im Ahrtal zerstörte viele Häuser und auch Bahnstrecken.
Von Martin Seifert (Einführer in der Wikipedia auf Deutsch) - Selbst fotografiert, CC0,
https://commons.wikimedia.org/de/index.php?title=Datei:20210714_Ahr.jpg

■ Überflutungen in Pakistan

Von Mitte Juni 2022 an kam es in weiten Teilen Pakistans zu **rekordverdächtigen Monsun-Niederschlägen**. Im Land fiel etwa 3,5mal, in der Provinz Sindh sogar achtmal mehr Regen als üblich. Mehr als 33 Millionen Menschen waren von den **Überflutungen** im Einzugsgebiet des Indus betroffen, 1,7 Millionen Häuser wurden zerstört, hunderte Nutztiere ertranken. Krankheiten wie Durchfall, Cholera, Haut- und Augeninfektionen und Malaria brachen aus, **fast 1500 Menschen starben**. Die Schäden wurden auf **30 Milliarden Euro** geschätzt. Auch bei dieser Flut stellt sich die Frage nach der Klimagerechtigkeit: Menschen, die selbst kaum etwas zum Klimawandel beitragen, sind oft besonders stark vom Klimawandel betroffen.

■ Sturzfluten:

Wenn bei Gewittern **kleinräumig enorme Niederschlagsmengen** fallen, entstehen **Sturzfluten**, so am 29. Mai 2016 in Braunsbach bei Schwäbisch Hall, wo Infrastruktur und über 100 Gebäude stark beschädigt wurden. Der Schaden: 100 Millionen Euro. In der Nacht auf den 3. Juni 2024 versank die 12.000-Einwohner-Gemeinde Rudersberg östlich von Stuttgart im Hochwasser. Vorausgegangen waren über 200 mm Regen in vier Tagen (ein Drittel des Jahresniederschlags von Stuttgart). Der Schaden: 150 Millionen Euro. Besonders durch Starkregen und Überschwemmungen gefährdet sind die Alpen (Abb. 2 – 3).



Abb. 2: Zerstörte Brücke nach einem Starkregen in den Schweizer Alpen.
Foto: Berni



Abb. 3: Murgang in den Schweizer Alpen: Nach Starkregen setzt sich der durchlässige Untergrund in Bewegung.
Foto: Berni

■ Der Zusammenhang mit dem Klimawandel

Dem Klimawandel lässt sich die **Häufung und Intensivierung von Starkregen** zuordnen (Kap. 7). Luft kann pro Grad Erwärmung **7% mehr Wasserdampf aufnehmen**. Steigt diese Luft auf, kühlt sie ab und mehr Wasserdampf kondensiert zu Wolken, aus denen dann heftigere Niederschläge fallen können. Bei **kleinräumigen Gewittern** kann die Niederschlagsmenge pro Grad Erwärmung sogar um über 10% ansteigen (Abb. 4).

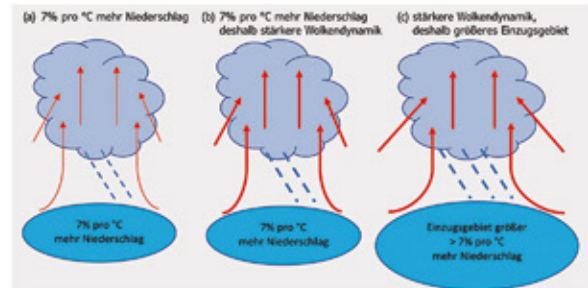


Abb. 4: Schema einer Gewitterzelle im Klimawandel.

- Die Situation, wenn nur die Temperatur steigen und sonst alles gleichbleiben würde. Die Regenmenge wächst dann um 7% pro Grad Erwärmung.
- In der Gewitterzelle kondensiert wie im Fall (a) mehr Wasserdampf, somit wird mehr Kondensationswärme freigesetzt. Die dadurch wärmere Luft dehnt sich mehr aus, ihre Dichte verringert sich stärker und sie steigt deshalb schneller auf. Die Regenmenge bleibt wie im Fall (a), fällt aber durch die intensivere Konvektion in kürzerer Zeit.
- Wird die Luft in der Gewitterzelle in (b) schneller aufsteigt, saugt sie aus einem größeren Umfeld feuchte Luft an – die Regensumme steigt dadurch um mehr als 7% pro Grad.

Eigene Abbildung, nach S. Rahmstorf

Sorgt die Erwärmung der Arktis bei uns für extremeres Wetter?

Das Wetter in Mitteleuropa wird wesentlich durch den Verlauf des **Jetstream** bestimmt. Dieser umweht unseren Planeten in einem wenige hundert km breiten Band in 7 bis 12 km Höhe mit Windgeschwindigkeiten bis über 500 km/h und trennt kalte arktische von warmen gemäßigten Luftmassen. Dieses Band verläuft oft ungefähr in West-Ost-Richtung, bildet aber immer wieder Wellen (Abb. 5). Beulte sich eine solche Jetstream-Welle bei uns nach Norden aus, dann strömt warme Luft zu uns. Richtet sie sich nach Süden, kommt kältere Luft von der Arktis herein. Diese Wellen verlagern sich ostwärts. Während der Hochwasserereignisse 2013 und 2021 in Zentraleuropa ist die südwärts gerichtete Welle jedoch wochenlang ortsfest geblieben, so dass ein regenbringendes Tiefdruckgebiet nach dem anderen über Zentraleuropa hinwegziehen konnte. U.a. bei den Hitzesommern 2003, 2006, 2015, 2018, 2019, 2022 und im Juni 2026 gab es hingegen eine ausgeprägte nach Norden gerichtete Welle, die lange Zeit subtropische Warmluft nach Europa führte. Die starke Erwärmung der Arktis hat den Temperatur- und Druckunterschied zwischen Pol und Äquator verringert. Vermutet wird, dass sich dadurch das Band, in dem der Jetstream fließt, langsamer ostwärts verlagert, was gefährlich lange anhaltende Wetterlagen begünstigt.

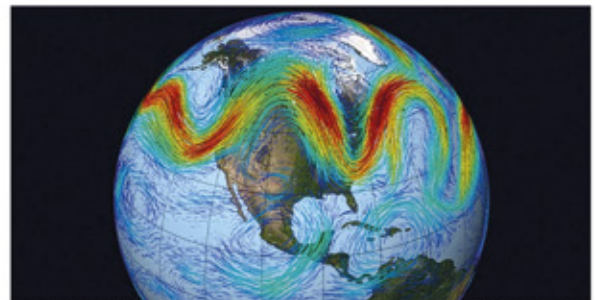


Abb. 5: Der Temperatur- (und damit Druck-) Unterschied zwischen den heißen Tropen und den kalten Polarregionen treibt den in 7–12 Kilometer Höhe von West nach Ost wehenden Jetstream an. Immer wieder bildet dieser nach Norden und Süden ausserordentliche Wellen, die ihre Lage mitunter wochenlang kaum verändern, was anhaltende Dürren oder andauernde Niederschläge mit sich bringen kann.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsches>

Fazit:

Die Aussichten des Weltklimarats IPCC

»Es ist sehr wahrscheinlich, dass **Starkniederschlagsereignisse in den meisten Regionen mit zusätzlicher globaler Erwärmung intensiver und häufiger werden**. Auf globaler Ebene werden Ereignisse mit extremen Tagesniederschlägen laut Projektionen pro 1°C Erwärmung um etwa 7% zunehmen«.



„Wissenschaftlich recht windig sind hingegen immer noch die Erkenntnisse beim Thema Stürme.“

Hans Joachim Schellnhuber, Direktor des Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, 2015



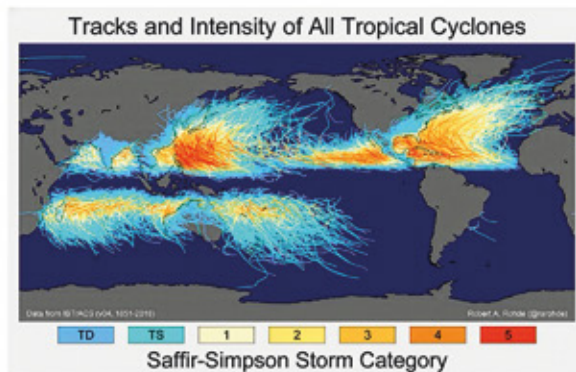
Versuch:

Welches Tuch ist kühler: das trockene oder das feuchte? Messen Sie die Temperatur! Falls hier kein Thermometer ausliegt, erhalten Sie es bei der Aufsicht.

■ Wasserdampf ist Treibstoff für Stürme

Wenn Wasser verdunstet, braucht das Verdunstungsenergie, die der Umgebung entnommen wird. Deshalb ist das nasse Tuch kühler. Steigt feuchte Luft auf, kühlt sie ab. Dabei kondensieren große Mengen an Wasserdampf zu Wolken. Hier wird die Verdunstungsenergie als **Kondensationswärme** wieder freigesetzt, sie kann Stürme anheizen. Tropische Wirbelstürme entstehen nur über großen Wasserflächen, da dort die Reibung niedriger als über Land ist und nur, wenn die **Wassertemperatur bis in Zehner von Meter Tiefe bei über 26°C liegt**, denn erst dann steht genügend Wasserdampf als Treibstoff für den Wirbelsturm zur Verfügung (Abb. 1).

Die **globale Erwärmung** führt nachweislich zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre (Station 4) und liefert damit **mehr Treibstoff für tropische Wirbelstürme**. Steigt die **Geschwindigkeit von Stürmen**, nehmen **Zerstörungskraft und Schäden überproportional** zu. Die freigesetzte Energie und damit die potenzielle Zerstörungskraft steigt nämlich mit der Windgeschwindigkeit hoch drei – ein Sturm von 250 km/h hat fast doppelt so viel Zerstörungskraft wie einer von 200 km/h.



<https://climate.spectrum.de/klimawandel/hurricane-daten-kategorie-6/>

■ Jahrhundert-Hurrikane

In den letzten Jahrzehnten hat es vermehrt starke tropische Wirbelstürme gegeben. Der **Hurrikan Harvey** (Abb. 2) trat am Abend des 25. August 2017 in Texas mit einer Windgeschwindigkeit von über 210 km/h auf Land. Er richtete insbesondere durch die starken Regenfälle schwere Schäden in Texas und Louisiana an. Große Teile Houston wurden überflutet, binnen 3 Tagen wurden in der Stadt über 1000 mm Regen gemessen, das entspricht der anderthalbfachen Jahres-Niederschlagsmenge von Stuttgart. Mindestens 83 Menschen kamen ums Leben. Aus Chemieanlagen und Industriebetrieben wurden Unmengen an gesundheitsschädlichen Substanzen freigesetzt. Der finanzielle Schaden übertraf mit über 100 Mrd. US-Dollar den Schaden beim Hurrikan Sandy 2012 (Abb. 3). Nur beim Hurrikan Katrina, der im Jahr 2005 u. a. einen Großteil New Orleans zerstört hatte, lagen die Schäden mit 200 Mrd. US-Dollar noch höher. Eine Zuordnungsstudie ergab, dass bei Harvey ohne den menschengemachten Klimawandel ca. 15 Prozent weniger Regen gefallen wäre und die regenbedingten Schäden statt 90 Millionen nur etwa 23 Millionen US-Dollar betragen hätten. Der Klimawandel hat diese Schäden also fast vervierfacht.

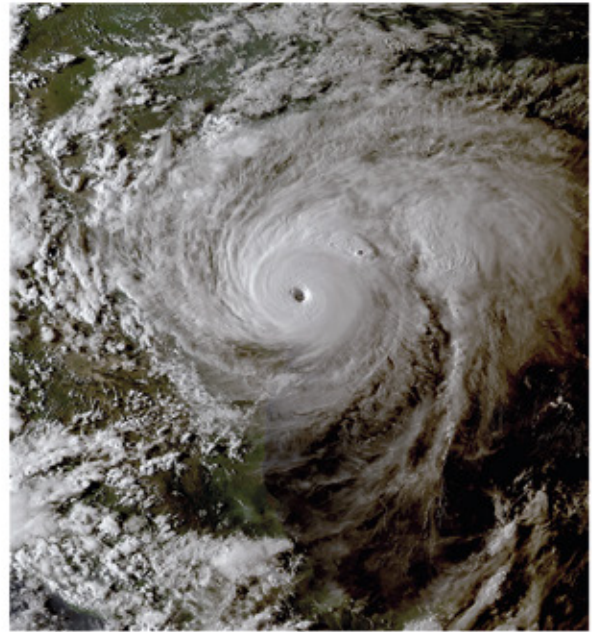


Abb. 2: Hurrikan Harvey in seiner höchsten Intensität beim Annähern an Texas am 25.08.2017
<https://climate.spectrum.de/klimawandel/hurricane-daten-kategorie-6/>



Abb. 3: Der Hurrikan Sandy überflutete und beschädigte am 24.10.2012 Häuser an der Atlantikküste von New Jersey/USA.

Public Domain: U.S. Air Force. <https://climate.spectrum.de/klimawandel/hurricane-daten-kategorie-6/>

■ Wirbelstürme im Pazifik und Südatlantik

Der Taifun Haiyan forderte Anfang November 2013 auf den Philippinen Tausende von Menschenleben. Mehr als vier Millionen Menschen wurden obdachlos. Mit Windgeschwindigkeiten von 315 km/h war er möglicherweise der stärkste, der jemals seit Beginn der Aufzeichnungen auf Land getroffen ist.

Erstmals trat 2004 ein Hurrikan im Südatlantik auf, genau in einer Ozeanregion, für die Klimaforscher mittels Simulationsrechnungen das Auftreten solcher Hurrikane infolge des menschengemachten Klimawandels prognostiziert hatten.

Fazit:

Wasserdampf ist Treibstoff für tropische Wirbelstürme. Die Erderwärmung lässt den Wasserdampfgehalt in der Luft ansteigen und führt zu heftigeren, möglicherweise auch zu mehr tropischen Wirbelstürmen. Mit der Windgeschwindigkeit steigen die Schäden überproportional. Das Mehr an Wasserdampf und der Meeresspiegelanstieg verschlimmern zudem das Ausmaß von Starkregen und Sturmfluten bei tropischen Wirbelstürmen. Generell sind Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Anzahl und Stärke von Stürmen jedoch wenig sicher.



„Wenn das Wasser zur Neige geht, beginnen die Kämpfe. Zunächst zwischen Nachbarn, dann zwischen Stadtvierteln. Am Ende wird daraus ein Krieg – ums Wasser.“

General a. D. Luis Palomino Rodríguez, ehemaliger Offizier der peruanischen Armee, 2014



Vergleichen Sie die Fotos!

Je zwei am selben Standort aufgenommene Fotos zeigen, wie stark Gletscher im Zuge der Erderwärmung abgeschmolzen sind.

Weltweit schmelzen die Gebirgsgletscher

Zu den sichtbarsten Auswirkungen des Klimawandels gehört der Rückgang der Gebirgsgletscher (Abb. 1). Ein paar Fakten:

- Pro 1°C Erwärmung steigt die Schneefallgrenze um 150 Höhenmeter an, und die Gletscherzunge schmilzt um mindestens 150 Höhenmeter zurück.
- Die Gletscher befinden sich nicht im Gleichgewicht mit der gegenwärtigen Erwärmung – auch ohne zusätzliche Erwärmung würden sie weiter zurückschmelzen.
- Die Eisverluste haben sich in den letzten Jahren weltweit stark beschleunigt. Die Eisdicke der beobachteten Gletscher nimmt weltweit jährlich um einen halben bis einen Meter ab, das ist zwei- bis dreimal so viel wie im Jahresdurchschnitt des 20. Jahrhunderts.
- Allein im Zeitraum von 2000 bis 2023 haben die Gletscher in den Alpen knapp 40% ihres Volumens verloren.
- Deutschland dürfte noch in den 30er Jahre seine letzten Gletscher verlieren.
- Würden alle Gletscher der Erde außerhalb Grönlands und der Antarktis abschmelzen, ließe dies den Meeresspiegel um 0,5 m ansteigen.



Abb. 1: Die Gletscher am Dachstein in den österreichischen Alpen schmelzen unaufhaltsam. Die links im Bild erkennbare Felsenüberdeckung kann das Verschwinden nur verzögern. Peter Röhrl

Mehr Bergstürze

Da die Frostgrenze ansteigt, tauen auch bisher ganzjährig gefrorene Felsregionen auf. Der Wechsel von Frost und Wärme und eindringendes Wasser sprengen Felsen und erhöhen die Gefahr von Fels- und Bergstürzen (Abb. 2). Ein dramatischer Bergsturz ereignete sich am 28. Mai 2025 im Schweizer Kanton Wallis. Der Tage zuvor evakuierte Ort Blatten wurde dabei durch eine Schutt- und Eislawine größtenteils zerstört (Abb. 3). Solche Bergstürze beobachtet man in den Schweizer Alpen immer häufiger: Zwischen 1900 und 1980 im Schnitt alle zwanzig Jahre, zwischen 1980 und 2000 alle fünf und seit dem Jahr 2000 etwa alle drei Jahre. Ein Experte erwartet zukünftig jährlich Bergstürze in der Schweiz.



Abb. 2: Felssturz in einem ehemals von einem Gletscher ausgefüllten Tal. Peter Röhrl



Abb. 3: Der Bergsturz von Blatten im Lötschental/Schweiz vom 28. Mai 2025 verschüttete einen Großteil des Ortes und staut einen See auf. Vorbest: Röhrl - Eigenes Foto, GE 01 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blatten_20250528.jpg

Wassermangel wegen schwindender Gletscher

In Perus Hauptstadt Lima und ihren Vorstädten leben mehr als acht Millionen Menschen mitten in der Wüste. Gespeist wird ihre Wasserversorgung in der Trockenzeit der Anden von Gletschern, die schon in zwei Jahrzehnten verschwunden sein können. Woher sollen die Menschen dann das Wasser nehmen? Wird man gewaltsame Konflikte ums Wasser verhindern können? Bis zur Jahrhundertwende werden je nach Umfang des Klimaschutzes 15 bis 85% des globalen Gletschereisvolumens abschmelzen. Weil dann weniger Wasser in Schneedecken und Gletschern gespeichert ist, sinkt die Verfügbarkeit von Wasser in Regionen, in denen mehr als ein Sechstel der Weltbevölkerung lebt.

Gefahr durch einen Gletschersee – Saúl Luciano klagte gegen die RWE



Abb. 4: Saúl Luciano. Gemeinfrei: <https://www.betterplanet.org/de/projects/20037-saul-luciano-ver-fur-die-menschen-in-huaraz-und-gegen-die-klimagerechtigkeit/> atm_source=project_wildlifealbum_medium=project_20037bath_campaign=wdgpt

Saúl Luciano Lliuya – Andenbauer und Bergführer aus Peru – klagte, unterstützt von Germanwatch, gegen den Stromkonzern RWE. Saúl und bis zu 50.000 Bewohnern der Andenstadt Huaraz droht durch das Ausbrechen eines Gletschersees, der sich im Zuge des Klimawandels stark vergrößert hat, eine verheerende Flutkatastrophe. Ein Damm mit reguliertem Auslauf soll das verhindern. Da die RWE, größte CO₂-Emittentin Europas, für etwa 0,5% aller weltweit bisher von Menschen verursachten CO₂-Emissionen verantwortlich ist, sollte sie auch ein halbes Prozent der notwendigen Schutzmaßnahmen bezahlen. Das Oberlandesgericht Hamm hat am 28. Mai 2025 geurteilt: Große Emittenten können zivilrechtlich für konkrete Folgen der Klimakrise haftbar gemacht werden. Da Saúl Luciano Lliuya nicht hinreichend gefährdet sei, hat das Gericht dessen Klage allerdings abgewiesen.

Fazit:

Weltweit schmelzen fast überall die Gebirgsgletscher. Dabei sich bildende Gletscherseen können ausbrechen und die talabwärts lebende Bevölkerung gefährden. Durch das Ansteigen der Frostgrenze wächst die Gefahr von Fels- und Bergstürzen. In Trockengebieten wird nach dem Abschmelzen der Gletscher Trink- und Bewässerungswasser fehlen, was zu Unruhen führen und die Kriegsgefahr in und zwischen Staaten erhöhen kann.





Die Polarregion ist unser Frühwarnsystem, dort zeigen sich Klimaeffekte zuerst.

Lars Kaleschke, Meeresphysiker, 2012



Versuch:

Eisberg im Wasserglas

Betrachten Sie das randvolle Wassergefäß. Auf dem Wasser schwimmt Eis. Wird das Wasser im Gefäß überlaufen, wenn das Eis weiter schmilzt?

■ Das Meereis schwindet

Die wenige Meter dicke Eisfläche im arktischen Ozean schrumpft im Sommer und wächst im Winter. Über die Jahre betrachtet schrumpft sie aufgrund des Klimawandels, im Vergleich der 2010er zu den 1980er Jahren im März um 10% und im September um 40%. Schmilzt das Meereis, tritt dunkles Meerwasser zutage, mehr Sonnenlicht wird absorbiert, weniger reflektiert, und es wird noch wärmer. Der Verlust von Meereis ist also sowohl Folge als auch Ursache der erhöhten Temperaturen in der Arktis, eine Rückkopplung (Albedoeffekt, Station 5). Ein solches Schmelzen wirkt sich nicht unmittelbar auf die Höhe des Meeresspiegels aus. Genauso, wie ein Wasserglas nicht überläuft, wenn Eiswürfel schmelzen.

Das Schwinden des Meereises hat jedoch beträchtliche ökologische Auswirkungen (Station 14) und beeinflusst vermutlich bereits heute deutlich das Wetter in den gemäßigten Breiten, auch bei uns (Station 10). Die Arktis könnte noch in diesem Jahrhundert im September regelmäßig praktisch meereisfrei sein (Abb. 1).

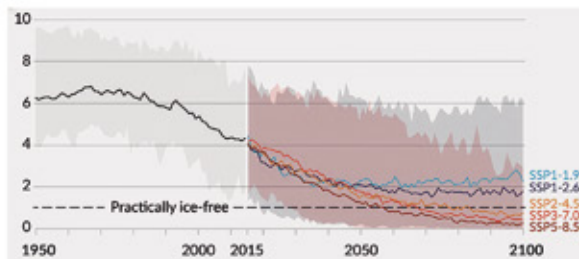


Abb. 1: Arktische Meereisfläche im September in Millionen km², schattiert: Unsicherheitsbereiche
IPCC AR6 WG1 AR6, SPM.300 <https://www.de-ipcc.de/300.php>

■ Die Eismassen Grönlands und der Antarktis schmelzen immer schneller

Der grönländische und der antarktische Eisschild haben in den 2010er Jahren laut IPCC fünfmal so viel Eis wie noch in den 1990er Jahren verloren (Abb. 2).

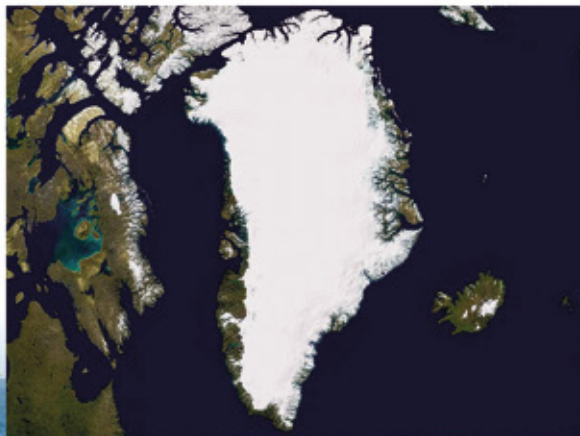


Abb. 2: Das Eis Grönlands bedeckt eine Fläche von 1,8 Millionen km² und ist im Mittel 1,67 km dick.
© NASA / Earth Research Center - <https://www.nasa.gov/images/content/144000main-grn-ice-sheet-20140801.jpg>

Im Grönländischen Eis treten zwei verstärkende Rückkopplungen auf:

- Taut eine Schneedecke an und gefriert danach, reflektiert das überfrorene Weiß nur noch 50 bis 60 Prozent der Sonnenstrahlung statt der ursprünglichen 85 Prozent und absorbiert entsprechend mehr, dadurch wird es noch wärmer. Ruß und Staub auf dem Eis verstärken diesen Albedoeffekt (Station 5).
- Gelangt die Gletscheroberfläche durch Abschmelzen oder Abfließen in tiefere, wärmere Luftschichten, beschleunigt sich das Abschmelzen weiter.

In der Antarktis ist es für das Schmelzen von Eis an Land zu kalt. Beim Kontakt mit erwärmtem Ozeanwasser schmilzt das Schelfeis aber an seiner Unterseite. Als Schelfeis werden große, auf dem Meer schwimmende Eisplatten bezeichnet, die mit Eismassen an Land verbunden sind. Schelfeis ist für das nachgelagerte Inlandeis wie ein Korken in der Flasche. Es bremst den Eisstrom, weil es in Buchten aneckt und auf Inseln aufliegt. Dünnt das Schelfeis aus, können die im Inland liegenden Eismassen schneller Richtung Ozean fließen, ein weiterer Selbstverstärkungseffekt.

Steigt die globale Erwärmung um 2°C bis 3°C gegenüber der vorindustriellen Zeit, werden der grönländische und der westantarktische Eisschild laut IPCC fast vollständig verlorengehen (Abb. 3). Allein das Schmelzen des grönländischen Eises ließe den Meeresspiegel im Laufe von Jahrhunderten um 7 m ansteigen (Station 16). Ein weiteres Problem stellt das Auftauen des seit der letzten Eiszeit gefrorenen Untergrunds in den arktischen Dauerfrostgebieten dar. Dadurch können große Mengen von bisher eingefrorenem Methan und CO₂ entweichen.

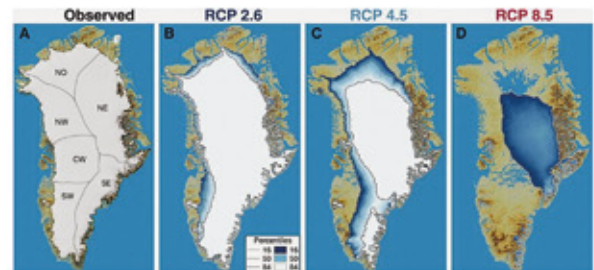


Abb. 3: Eisbedeckung auf Grönland 2008 und im Jahr 2100 nach den Klimaszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Blau-Weißfärbung: Wahrscheinlichkeiten der Abschätzung für die Eisbedeckung (unter 10%, um 50% und über 94 %). Beispiel: Beim Szenario RCP8.5 mit hohem CO₂-Ausstoß gibt es im Jahr 2100 höchstens noch im zentralen Teil Grönlands eine Eisbedeckung, auch dort nur mit einer Wahrscheinlichkeit von höchstens 10%.

Anschaenen, A., H.A. Fahrens, H. Truffer, B.J. Braaten, R. Roca, C. Khroule, R. Plattner, S.A. Khan (2018): Contribution of the Greenland Ice Sheet to sea level over the next millennium, 1 (5). <https://doi.org/10.1016/j.jglim.2018.05.002>

Grönland war im Mittelalter nicht eisfrei

Manche Klimaskeptiker behaupten, Grönland (=Grünland) sei im Mittelalter weitgehend eisfrei gewesen. Das ist Unsinn, allein schon, weil sonst alle Küstenstädte bei knapp sieben Meter höherem Meeresspiegel im Meer versunken wären.

Fazit:

Das Abschmelzen des arktischen Meereises beschleunigt die Erderwärmung, lässt aber nicht unmittelbar den Meeresspiegel ansteigen. Dagegen steigt dieser um sieben Meter, falls die Eismassen Grönlands abschmelzen sollten und um weitere drei Meter beim Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes. Diese Prozesse könnten schon bei einer globalen Erwärmung um zwei Grad unumkehrbar in Gang kommen.





*Wir gehen nicht unter, weil die Natur es will!
Wir gehen unter, weil die Menschheit nichts tut!
Der steigende Meeresspiegel ist keine
Naturkatastrophe, er ist eine moralische
Katastrophe!*

Enele Sapoaga, 2013 bis 2019 Premierminister von Tuvalu, 2025



■ Der Meeresspiegelanstieg in den letzten Jahrtausenden

Die erste schriftliche Überlieferung der Menschheit (das Gilgamesch-Epos), die Bibel und Mythen vieler anderer Völker erzählen von der zerstörerischen Gewalt großer Fluten. Hintergrund könnte der **Anstieg des Meeresspiegels um etwa 120 m seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren** sein, als das Klima global ca. 4 bis 5°C kälter war. Pro Jahrhundert stieg die Flut um bis zu vier Meter.

In den letzten zwei Jahrtausenden blieb der Meeresspiegel fast konstant. Wenn er jetzt erneut ansteigt, ist der Mensch nicht mehr nur Opfer, sondern auch Verursacher der Fluten. Im Zeitraum **1901 bis 1971** stieg der Meeresspiegel schon um **1,3 mm pro Jahr** an, von **2014 bis 2024** beschleunigte sich der Anstieg auf **4,2 mm pro Jahr**.

Der Meeresspiegel steigt an, weil sich das erwärmte Meerwasser ausdehnt, weil Gletscher, der grönländische und der antarktische Eisschild schmelzen und weil Grundwasser für die Bewässerung hochgepumpt wird.

■ Der zukünftige Anstieg des Meeresspiegels

Der Meeresspiegel wird laut Weltklimarat IPCC weiter ansteigen, je nach Klimamodell und Emissionsszenario **bis 2100 wahrscheinlich um 0,28 m bis 1,01 m im Vergleich zu 1995 – 2014** (Abb. 1). Sollten, wie in den Eiszeitzyklen der Vergangenheit des Öfteren geschehen, große Eismassen in Grönland und der Antarktis instabil werden und beschleunigt ins Meer fließen, kann der IPCC auch einen **Anstieg von annähernd 2 m bis zum Jahr 2100** und 5 m bis 2150 nicht ausschließen – ein gewaltiges **Restrisiko**! Zum Vergleich: Vor etwa 125.000 Jahren, als es kühler oder ähnlich warm wie heute war, lag der Meeresspiegel wahrscheinlich 5 m bis 10 m höher als heute. Schon ein Anstieg um zwei Meter würde ohne Küstenschutz die Küstenlinien auch in Deutschland und den Niederlanden drastisch verändern (Abb. 2).

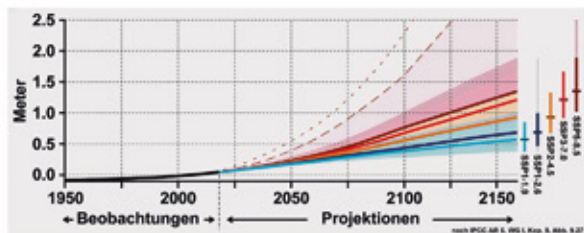


Abb. 1: Meeresspiegelanstieg bis 2150 in unterschiedlichen Szenarien (SSP), mit Bandbreiten mittleren Vertrauens: SSP1-1.9 beschreibt den 1,5°C-Weg, SSP1-2.6 den 2°C-Weg; SSP5-8.5 den (inzwischen als wenig plausibel eingestuften) Weg mit sehr hohen CO₂-Emissionen. Gestrichelt dargestellt sind zwei wenig wahrscheinliche, aber mit großen Risiken verbundene Entwicklungen für das Extremszenario SSP5-8.5 bei möglichem beschleunigtem Fließen der Eisschilde (83- und 95-Perzentil).

Von original graph: see sources; of this graph: Dethlefsen - own work, based upon IPCC AR 6, WG I, Rep. 9.21, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Index:ipcc_ar6_wg1_chapter9.pdf#page=123



Abb. 2: Küstenlinie in Deutschland und den Niederlanden, wenn der Meeresspiegel um zwei Meter ansteigt. (ohne Küstenschutz)

■ Die ersten Opfer des Meeresspiegelanstiegs

Die Bewohner von fünf Staaten leben ausschließlich auf **Korallenatollen**, die als ringförmige, im Mittel zwei Meter über das Wasser ragende Korallenriffe eine Lagune umschließen: Die Malediven, Kiribati, die Marshall-Inseln, Tokelau und Tuvalu sind die Heimat von zusammen etwa einer halben Million Menschen (Abb. 3). Wenn der Meeresspiegel ansteigt, steigen die Flutwellen tropischer Stürme überproportional, auch, weil die Sturmintensität zunehmen kann (Station 11). Zusätzlich drohen Grundwasser und Böden zu versalzen, was die Möglichkeiten für den Anbau von Nahrungsmitteln ebenso einschränkt wie dies unregelmäßiger werdende Niederschläge tun. Erste kleine Inseln mussten bereits evakuiert werden.

Der UN-Zivilpakt bestimmt: »In keinem Fall darf ein Volk seiner eigenen Existenzmittel aufgrund irgendwelcher Rechte beraubt werden, auf die sich andere Staaten berufen«. Wird der Pakt die noch in diesem Jahrhundert unausweichlich erscheinende Zerstörung einiger tropischer Inselwelten, Heimat von Hunderttausenden von Menschen, verhindern können? (Abb. 4)



Abb. 3: Die Marshallinseln liegen mehrheitlich weniger als 1,80 m über dem Meeresspiegel
Von Mark Stone - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Index:ipcc_ar6_wg1_chapter9.pdf#page=123



Abb. 4: Auch Menschen im Inselstaat Tuvalu werden ihre Heimat verlieren. Aufschrift: »An den Rest der Welt: Bereitet ihr bitte einen Platz für mein Land vor, wo wir bleiben können?«
<https://www.klimafakten.de/klimakommunikation/vermehrt-verbreitete-neue-fakten-zur-klimawandel>

Fazit:

Laut IPCC werden, weil der Meeresspiegel ansteigt, **Jahrhundertfluten** (mit denen derzeit einmal in hundert Jahren zu rechnen ist) im Jahr 2100 sogar bei Szenarien mit konsequentem Klimaschutz **an mehr als der Hälfte aller Pegelstandorte weltweit mindestens einmal pro Jahr auftreten**. Ab den 2040er Jahren wird etwa **eine Milliarde Menschen durch küstenspezifische Klimagefahren bedroht sein**. Auch, weil der Meeresspiegel steigt, **beschneidet der Klimawandel Menschenrechte wie das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit**.



„Wir überflogen 4.000 km der unberührtesten Teile des Great Barrier Reef und haben nur vier intakte Korallenriffe gesehen, es gab nur vier Riffe, die keine Korallenbleiche aufwiesen.“

Meeresbiologe Terry Hughes, James-Cook-University in Townsville, Australien, 2016



Abb. 1: Gesunde Korallen

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Port_Laurel_march_2016-0507.jpg



Abb. 2: Korallenbleiche

Korallenriffe werden ihrer Artenvielfalt wegen als »Regenwälder der Meere« bezeichnet (Abb. 1). 500 Millionen Menschen weltweit sind auf Korallenriffe angewiesen. Diese schützen Küsten als natürliche Wellenbrecher, sind die Wiege vieler Fischarten, ermöglichen Fischfang und ziehen Touristen an. Warmwasser-Korallenriffe kommen im Tropengürtel um den Äquator herum vor (Abb. 3).



Abb. 3: Vorkommen riffbildender Warmwasserkorallen.

NOAA https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Reef_building_corals.jpg

Das größte Korallenriff der Erde, das Great Barrier Reef, liegt vor der Nordostküste Australiens und ist 2300 km lang (Abb. 4). Erstmals kam es 1998 zu einer Korallenbleiche in großem Ausmaß, danach in den Jahren 2002, 2016, 2017, 2020, 2022, 2024 und 2025. Immer wieder werden Korallenbleichen globalen Ausmaßes beobachtet. Anfang 2025 waren 84% aller tropischen Korallenriffe von einer Massenbleiche betroffen (Abb. 2 und 7). Korallenbleichen hängen eng mit der Lebensweise der Korallen zusammen.



Abb. 4: Satellitenfoto eines Teils des Great Barrier Reef östlich der Stadt Mackay im Bundesstaat Queensland. Der Bildausschnitt umfasst ca. 200x200 km. Aufnahmezeitpunkt: 26.08.2000. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:glbt/cut0183272>



Abb. 5: Verschiedene Steinkorallen (links)

Anders Poulsen CC-BY-SA 3.0 <https://commons.wikimedia.org/wiki/Korallenriff>

Daten: Knappe, spezialisiert



Abb. 6: Lederkorallen mit gut sichtbaren Polypen (rechts)

Wikipedia: Bob McQuinn CC-BY-SA 3.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medusa_Coral_Lobelia.jpg, with extended privacy

Die symbiotische Lebensweise der Korallen

Korallen sind Tiere, winzig kleine Polypen. Steinkorallen bilden durch Einlagerungen von Kalk Skelette, durch die Korallenbänke oder ein Korallenriff entstehen, da totes Skelettmaterial fortwährend von lebendigem Gewebe überwuchert wird (Abb. 5 – 6). Polypen nehmen einzellige Algen in ihre Zellen auf und bilden mit diesen eine Symbiose, eine Lebensgemeinschaft zu beiderseitigem Nutzen: Die Polypen schützen die Algen vor schädlicher UV-Strahlung und liefern ihnen die Nährstoffe Stickstoff und Phosphat. Die Alge wandelt für die Koralle die Energie des Sonnenlichts in chemische Energie um (Photosynthese) und kann so aus CO₂ Zucker und andere energiereiche Stoffe herstellen. Algen verleihen den Korallen ihre bunten Farben.

Wie wirkt der Klimawandel auf die Korallen?

Erwärmt sich das Wasser auch nur ein paar Wochen lang um ein bis drei Grad, beginnen die Algen im Innern der Polypen Giftstoffe zu produzieren. Daraufhin werden sie von den Polypen abgestoßen. Die Algen sterben und die Korallen verlieren ihre leuchtenden Farben, es kommt zur Korallenbleiche. Bei weiter voranschreitender Erwärmung der Meere nehmen Häufigkeit, Intensität und Dauer von marinen Hitzewellen, Phasen ungewöhnlich hoher Meerestemperaturen, zu. Dadurch wird der Zeitraum zwischen zwei Korallenbleichen in immer mehr Regionen für eine Erholung der Riffe, die mindestens zehn Jahre beansprucht, zu kurz.

Gelänge es, die globale Erwärmung auf 1,5°C gegenüber vorindustriellen Zeiten zu begrenzen, könnten laut IPCC zehn bis 30 Prozent aller Warmwasserkorallenriffe erhalten bleiben. Schon bei 2°C Erwärmung würde man mindestens 99% verlieren. Nach neueren Erkenntnissen ist das Sterben der Korallenriffe bereits bei der heutigen globalen Erwärmung unumkehrbar (Station 20).

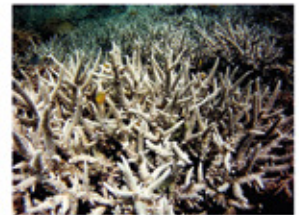


Abb. 7: Intaktes Riff und ausgebleichtes Riff <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/18p-47NC74Marine.jpg> https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Tenor_Coral_Reef.jpg

Weitere Wirkungen der CO₂-Emissionen auf die Weltmeere

Gefahr droht auch durch die Übersäuerung der Meere, die knapp ein Drittel des bisher von Menschen ausgestoßenen CO₂ aufgenommen haben. Im Wasser liegt CO₂ teilweise in Form von Kohlensäure vor. Im globalen Mittel ist der pH-Wert der Ozeane seit Beginn der Industrialisierung um 0,1 gesunken, was 30 Prozent mehr Säure bedeutet. Bis 2100 könnte der pH-Wert ohne Klimaschutz laut IPCC um weitere 0,4 Einheiten absinken. Dies würde die Bildung von Kalkschalen bei Korallen, Schnecken, Muscheln und bestimmten Planktonarten z. T. schwerwiegend beeinträchtigen. In den vergangenen 300 Millionen Jahren ist es noch nie zu einer derart schnellen Versauerung der Weltmeere gekommen.

Fazit:

Die Erwärmung und Verschmutzung der Weltmeere haben schon vielerorts Korallen ausbleichen lassen. Bei einer globalen Erwärmung von 2°C werden praktisch alle tropischen Korallenriffe mit unzähligen Arten verschwinden. Ein weiteres Problem der Weltmeere stellt ihre drohende Übersäuerung dar. In beiden Fällen werden ganze Ökosysteme und die Menschen davon betroffen sein.



Der Klimawandel hat erhebliche Schäden und zunehmend irreversible Verluste in Land-, Süßwasser- und Meeresökosystemen [...] verursacht. Hunderte von lokalen Artenverlusten sind darauf zurückzuführen, dass Hitzeextreme in ihrem Ausmaß zugenommen haben, wobei an Land und im Meer Massensterben verzeichnet wurden. Die Folgen für einige Ökosysteme nähern sich der Unumkehrbarkeit. [...] Der Verlust von Ökosystemen und ihren Leistungen hat kaskadenartige und langfristige Folgen für Menschen weltweit.

Weltklimarat IPCC 2023

■ Zum Kuckuck mit dem Klimawandel!

Der Kuckuck hat wie kaum ein anderer Vogel Eingang in Tradition, Liedgut und Sprache gefunden. Er ist nur noch selten mit seinem charakteristischen Ruf zu vernehmen, auch, weil Wälder und Felder intensiv bewirtschaftet werden. Bekannt ist der über 30 cm große Waldvogel dafür, dass er seine Eier anderen Vögeln unterschleibt und sich so der Aufzucht seines Nachwuchses entledigt (Abb. 1).



Abb. 1: Der junge Kuckuck wird oft deutlich größer als seine Pflegeeltern, hier ein Teichrohrsänger.
Von Serica Bräse - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?title=Datei:Kuckuck.jpg>



Abb. 2: Waldschäden im Harz.
Foto: Boreas

Der Kuckuck könnte zum Opfer des Klimawandels werden: Während viele Zugvögel ihre Reisepläne an den vorgezogenen Frühling anpassen, orientiert sich der Kuckuck an der Tag- und Nachtlänge. Wenn er im Sommerquartier eintrifft, brüten die anderen Vögel bereits und lassen sich nicht mehr so leicht ein Kuckucksei unterschleiben. Andere Experten widersprechen: Der Kuckuck sei meistens schon da, wenn die Wirtsvögel ihr Nest bauen. Ansonsten räume er das Gelege aus, so dass die Wirtin erneut Eier legen müsse.

■ Wälder im Klimawandel-Stress

Längere Vegetationsperioden und die erhöhte CO₂-Konzentration begünstigen das Wachstum der Wälder in Mitteleuropa. Witterungsextreme, vor allem Dürren, Hitze und Stürme, schwächen und schädigen dagegen Bäume (Abb. 2). Die oft in Monokulturen angepflanzte Fichte liefert als »Brotbaum« der Forstwirtschaft begehrtes Bauholz. Wenn Fichten Wassermangel leiden, kommt ihre Harzproduktion ins Stocken, sie werden dann anfälliger für den Borkenkäfer. Ein Forstwissenschaftler: »Die Wärme macht die Fichte schwach und den Käfer stark«. Auch die anderen Hauptbaumarten Buche, Eiche und Kiefer zeigen deutliche Schäden. 2025 ist laut Waldzustandsbericht nur jeder fünfte Baum in Deutschland ohne Kronenschäden. Die sehr trocken-heißen Sommer 2018 bis 2020 ließen 2.500 km² Wald komplett absterben, eine Fläche so groß wie das Saarland. Zwischen 2017 und 2022 haben die Wälder in Deutschland dürrbedingt mehr CO₂ abgegeben als aufgenommen.

■ Der Klimawandel beeinflusst die biologische Vielfalt

Die Biodiversität oder biologische Vielfalt umfasst die Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten, die genetische Vielfalt innerhalb der Arten und die Vielfalt an Lebensräumen (Ökosystemen). Die Biodiversität ist bedroht, vor allem durch den Verlust von Lebensräumen, etwa durch Abholzen von Wäldern oder Zersiedlung, Übernutzung durch Jagd und Fischfang, Schadstoffeinträge, z. B. bei Überdüngung und Pestizideinsatz, vom Menschen eingeführte invasive Arten, und zunehmend auch durch den Klimawandel.

Kein Phänomen im Bereich von Lebewesen ist so eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen wie Veränderungen beim Lebensrhythmus (Abb. 3 - 4), etwa ein früherer Blühbeginn bei Pflanzen. Erwärmungsbedingt verlagern sich viele Verbreitungsgebiete polwärts und in Gebirgen nach oben. Wenn Arten in Gebirgen die Gipfel erreicht haben und von nachrückenden Arten verdrängt werden, kommen sie, »in den Himmel«, drohen also auszusterben.

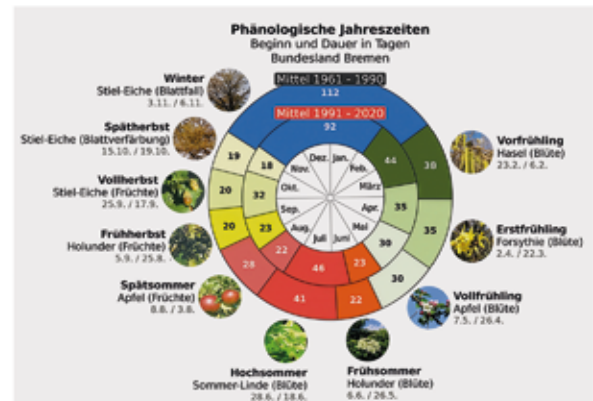


Abb. 3: Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen, hier für Bremen, sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Beim Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich.

Quelle: Deutscher Wetterdienst <https://www.klimaanpassung.bremen.de/KlimawandelundKlimawandel-von-und-bremen-temperatur-21488>

Der Klimawandel beeinflusst auch Beziehungen zwischen den Arten, z. B. beim Kuckuck und seinen Wirtsvögeln (s. o.) oder bei der Bestäubung. Werden Bestäuber und Pflanze weiterhin zur selben Zeit am selben Ort sein, oder werden sie sich in Lebensrhythmus oder Verbreitungsgebiet auseinanderentwickeln, weil sie unterschiedlich anpassungsfähig oder mobil sind? Fallen Bestäuber aus, wäre mit spürbaren Ernteausfällen und Artenschwund zu rechnen.

Die Bramble-Cay-Mosaikschwanzratte ist wohl die erste Art, die nachweislich infolge des Klimawandels ausgestorben ist. Der Nager hat auf einer flachen Insel an der Nordspitze des Great Barrier Reef (Station 17) gelebt und wurde 2009 zum letzten Mal gesichtet. Er erlag wohl den wiederholten Überflutungen der Insel, die auf den Anstieg des Meeresspiegels und häufigere Tropenstürme zurückzuführen sind.



Abb. 4: Der Klimawandel führt auch zu früherer Apfelblüte.
Foto: Boreas

Fazit:

Der Kuckuck und die heimischen Wälder stehen hier für Tausende von erforschten Beispielen, wie der Klimawandel Arten und Ökosysteme beeinflusst, und für Zigtasende unerforschte. Da Lebewesen Zeit zur Anpassung brauchen, ist beim Klimawandel die Geschwindigkeit genauso wichtig wie das Ausmaß. 2100 könnte der Klimawandel die stärkste Bedrohung für die Biodiversität der Erde darstellen.



Der Klimawandel ist die größte Bedrohung der Weltgesundheit im 21. Jahrhundert.

Aus einem Übersichtsartikel weltweit führender Experten zu Fragen von Klimawandel und Gesundheit, 2009

■ Allergien

Die Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts (*Ambrosia artemisiifolia*) gehören zu den stärksten Allergie-Auslösern (Abb. 1 – 4). Die einjährige, krautige Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von 20 bis 150 Zentimetern. Die aus Nordamerika stammende Pflanze gilt in den USA als Hauptauslöser von Allergien. Sie macht sich seit Anfang der 1990er Jahre in Süddeutschland und um Berlin herum in Gärten, an Bahndämmen, Wegrändern und auf Schutthalde breiten. Häufig wird sie durch verunreinigtes Vogelfutter aus Ungarn verbreitet, wo Sonnenblumenfelder mit Ambrosia verseucht sind. Eine einzelne Pflanze kann bis zu drei Milliarden Pollenkörner freisetzen. Schon ab fünf Pollen je Kubikmeter zeigen sich allergische Reaktionen. Die nur 0,02 Millimeter großen Pollenkörner verbreiten sich morgens während der Blütezeit von Juli bis Oktober und gelangen auf unsere Haut, in unsere Augen und Atemwege – tiefer als andere Pollen, weil sie so klein sind. In Europa leiden rund 14 Millionen Menschen unter Ambrosia-Allergien. Beim Kontakt mit den Ambrosia-Pollen jucken die Augen, die Nase läuft und je nach Belastung kommt es zu schwerem Heuschnupfen oder gar zu akuten Asthmaanfällen. Die Behandlung allein dieser Allergiekranke kostet über sieben Milliarden Euro pro Jahr.



Abb. 1: Beifußblättriges Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*)
Von Branga - Eigenes Werk, CC-BY-SA 3.0
<https://commons.wikimedia.org/index.php?title=Datei:Ambrosia.jpg&id=7362055>



Abb. 2: Die Ambrosia breitet sich oft entlang von Bahndämmen aus.
Von Stefan Jellmer - Eigenes Werk, CC-BY-SA 4.0
<https://commons.wikimedia.org/index.php?title=Datei:Ambrosia.jpg&id=38632997>

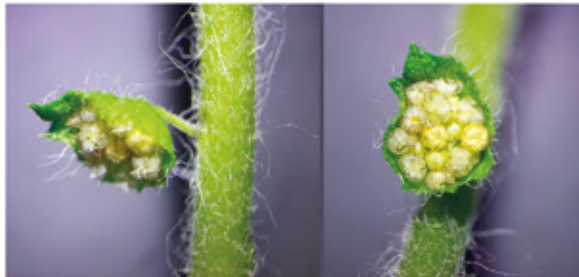


Abb. 3: Korb mit männlichen Blüten, die Pollen enthalten.
Von Stefan Jellmer - Eigenes Werk, CC-BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/index.php?title=Datei:Ambrosia.jpg&id=31225685>

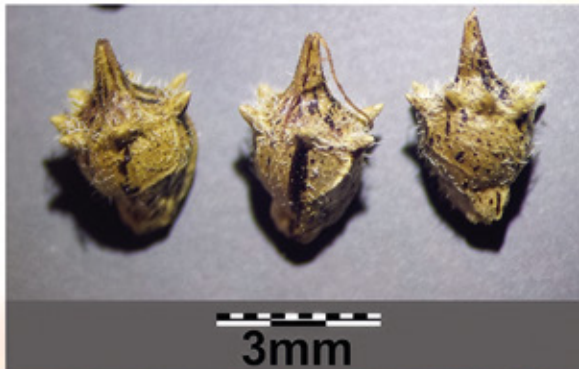


Abb. 4: Reife Fruchtkörbe der Ambrosia, wie sie auch in Vogelfutter vorzufinden sind.
Von Stefan Jellmer - Eigenes Werk, CC-BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/index.php?title=Datei:Ambrosia.jpg&id=3142024>

■ Allergien und der Klimawandel

Allergien sind die häufigste chronischen Erkrankung, in Europa sind 130 Millionen Menschen davon betroffen. Der Klimawandel verfrüht in Europa die Pollensaison, weil sich hier die Frühlingsphasen um über zwei Wochen vorverlegt haben (Station 18). Er verlängert zudem die Pollensaison und kann die Ausbreitung allergieauslösender wärmeliebender Arten, etwa der Ambrosia, fördern. Experimente zeigen zudem, dass bei vielen Arten die Pollenproduktion mit höherem CO₂-Gehalt zunimmt. Ist die Luft mit Ozon, Feinstaub und Stickoxiden belastet, etwa wegen des Straßenverkehrs, steigt die Pollenproduktion weiter an und die Aggressivität der Pollen nimmt zu.

■ Plagegeister und ihre Krankheitserreger

Auch Infektionen können sich im Zuge der Erwärmung in Deutschland ausbreiten: Etwa die von Zecken übertragene FSME-Hirnhautentzündung oder der über Ausscheidungen von Rötelmäusen übertragene Hanta-Virus, der u. a. Fieber und Gliederschmerzen auslösen kann. Seit 2007 breitet sich in Deutschland die tagaktive, aggressive Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) aus (Abb. 5). In den Tropen bewirkt sie über ein Dutzend Tropenkrankheiten, darunter das Dengue-, West-Nil-, Zika- und Chikungunya-Fieber. 2007 breitete sich das Chikungunya-Fieber erstmals in Europa aus: Um Ravenna in Italien erkrankten über 200 Menschen. Für die Ausbreitung reichen Durchschnittstemperaturen von 18°C, wie sie im Sommer in immer mehr Gebieten Deutschlands anzutreffen sind. Zur Übertragung des Dengue-Virus braucht es höhere Temperaturen, wie sie in Südfrankreich vorkommen, wo dieses schon vereinzelt übertragen wird. Seit 2018 beobachtet man in Ostdeutschland, dass auch heimische Stechmücken das West-Nil-Virus übertragen.



Abb. 5: Die auffällig schwarz-weiß gemusterte Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*)
Von James Gathungu, CC-BY-SA, <https://commons.wikimedia.org/index.php?title=Datei:Aedes albopictus.jpg&id=3670446>

Fazit: Wie Klimawandel die Gesundheit beeinflusst

Der Klimawandel beeinflusst die Gesundheit auf direkten und indirekten Wegen: Häufigere und heftigere Hitzewellen, Dürren, Überflutungen und Stürme können unmittelbar Leib und Leben der Menschen gefährden. Zudem kann der Klimawandel bei Dürren und Fluten die Wasserqualität verschlechtern, bei Waldbränden die Luft verschmutzen oder die Lebensraumgrenzen von schädlichen Tier- und Pflanzenarten verschieben und dadurch indirekt die Gesundheit beeinträchtigen. Gesundheitliche Folgen des Klimawandels können Verletzungen, Unterernährung, Vergiftungen, Infektionskrankheiten (s. o.), Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Allergien (s. o.) und psychische Erkrankungen sein. Die WHO schätzte 2014, dass zwischen 2020 und 2030 jährlich etwa 250.000 Menschen an den Folgen des Klimawandels sterben, insbesondere durch Hunger und die Ausbreitung von Krankheiten wie Malaria und Denguefieber. Weit mehr Menschen, jährlich etwa 10 Millionen, sterben wegen Luftverschmutzung infolge der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas. Das wäre vermeidbar, wenn wir auf saubere klimafreundliche Energien umsteigen würden.



„Verlust und Schäden‘ ist [...] eine schön-malerische diplomatische Umschreibung für etwas über das wir nicht reden dürfen:
„Verantwortung und Schadensersatz‘.
Diese Worte sind tabu, vor allem für Diplomaten aus den USA und anderen reichen Ländern.“

Saleemul Haq, verstorbener Direktor des International Centre for Climate Change and Development an der Independent University in Bangladesh zu Sprachregelungen beim Pariser Klimaabkommen von 2015

Machen Sie mit!

Greifen Sie in die Box und begreifen Sie eine der wichtigsten Existenzgrundlagen der Menschheit!

Der Stern-Report

Schon 2006 veröffentlichte Sir Nicholas Stern, ehemaliger Chef-Volkswirt der Weltbank, eine Untersuchung zu den Kosten des Klimawandels. Eine der Kernaussagen: »Die Gesamtkosten und -risiken des Klimawandels, wenn wir nicht handeln, betragen wenigstens 5% des globalen Bruttoinlandsprodukts (BIP) jedes Jahr, jetzt und für immer«. Es könnten aber auch 20% und mehr werden, wenn man eine breitere Palette an Risiken und Einflüssen berücksichtigt. Dies entspräche dann pro Jahr über 5 Billionen Euro. Der Klimawandel ist laut Stern Folge des größten Marktversagens, das die Welt je gesehen hat. Der Grund dafür: Am CO₂-Ausstoß klebt bisher kein realistisches Preisschild.

Die weltweiten Kosten des Klimawandels

Die Kosten des Klimawandels sind so hoch, weil er »die Grundelemente des Lebens« aller Menschen – Zugang zu Wasser, Nahrungsproduktion, Gesundheit und die Umwelt – beeinflusst. Laut IPCC leben ungefähr 3,5 Milliarden Menschen unter Bedingungen, die sehr verwundbar gegenüber dem Klimawandel machen.

In der ausgestellten Box können Sie Weizen ertasten, eine Existenzgrundlage der Menschheit (Abb. 1). Mit dem Klimawandel (Station 10: veränderter Jetstream) steigt laut IPCC das Risiko für gleichzeitige Missernten in Weltregionen, in denen ein Viertel aller Nahrungsmittel weltweit erzeugt werden. Dies beträfe den Westen Nordamerikas und Russlands, Westeuropa und die Ukraine. Die Getreidepreise würden dann kräftig ansteigen, das Überleben vieler Menschen stünde auf dem Spiel.



Abb. 1: Weizen
Foto: Sarsa

Unsicherheiten in der Forschung

Die genauen Kosten des Klimawandels vorherzusagen, ist nicht möglich. Ökonomische Schätzungen hängen stark davon ab, welche Effekte des Klimawandels berücksichtigt und welche wirtschaftswissenschaftlichen Modelle gewählt werden. Die Existenz von Kippelementen (Station 20) und Schwellenwerten erschweren Kostenberechnungen. Ein Beispiel: Der Hurrikan Sandy (Station 11) flutete die New Yorker U-Bahn – zum ersten Mal in 125 Jahren – mit Schäden allein dort in Höhe von 5 Milliarden US-Dollar. Wäre die Kombination aus Sturmflut, Hochwasser und Anstieg des Meeresspiegels nur um 15 Prozent niedriger ausgefallen, wären die Schäden vernachlässigbar gering geblieben.

Laut Umweltbundesamt (UBA) verursacht jede ausgestoßene Tonne CO₂ Schäden in Höhe von mindestens 345 Euro. Allein die 2024 in Deutschland freigesetzten Treibhausgasemissionen führen während ihrer Verweildauer in der Atmosphäre laut UBA zu globalen Wohlfahrtsverlusten in Höhe von 647 Milliarden Euro, wenn man die Schäden für heutige und künftige Generationen gleichermaßen berücksichtigt.



Viele Schäden sind kaum in Geld zu beziffern, insbesondere der Verlust von Menschenleben, Heimat oder Tier- und Pflanzenarten. Solche nicht behebbaren oder ersetzbaren Folgen des Klimawandels bezeichnet man als Verluste.

Auswirkungen auf Wirtschaft, Gesellschaft und Staaten

Wenn es immer mehr Überschwemmungen, Dürren und Waldbrände gibt, können häufiger Lieferketten unterbrochen werden, oft mit globalen Auswirkungen. Für besonders gefährdete Orte steigen die Versicherungsprämien. Nehmen die Risiken weiter zu, ziehen sich Versicherungen von dort ganz zurück. In manchen Gebieten der USA ist das bereits der Fall. Die Eigentümer bekommen dann für ihre Häuser keine Hypothekendarlehen mehr, Immobilien drohen unverkäuflich zu werden. Weitet sich das aus, könnte der Immobilienmarkt nach Panikreaktionen zusammenbrechen, eine weltweite Finanzkrise wie 2008 wäre möglich.

Die zunehmenden Klimaschäden können auch zu gesellschaftlichen und politischen Konflikten führen. Daraus könnten Gewalt und Destabilisierung erwachsen, die die nationale und internationale Sicherheit in einem bisher unbekannten Ausmaß bedrohen. Es ergäben sich Verteilungskonflikte in und zwischen Ländern um Wasser, Land, die Bewältigung von Flüchtlingsströmen oder um Kompensationszahlungen.

Der Klimawandel kann die Staaten jedoch auch zusammenführen, wenn sie ihn als Menschheitsbedrohung verstehen und eine kluge Klimapolitik in die Wege leiten.

Fazit:

Der IPCC stellte 2023 fest: »Selbst ohne Berücksichtigung aller Vorteile, die sich aus der Vermeidung potenzieller [Klima]-Schäden ergeben, übersteigt der globale wirtschaftliche und soziale Nutzen einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2°C in den meisten der bewerteten Studien die Kosten zur Minderung des Klimawandels«. Klimaschutz ist langfristig viel billiger als der Verzicht darauf.

Wir können uns das Nichtstun nicht mehr lange leisten!





Die Hauptsorge angesichts von Geo-Engineering-Rezepten gegen die globale Erwärmung ist, dass das Heilmittel schlimmer sein könnte als die Krankheit.

Kevin Trenberth und Aiguo Dai, Verfasser einer Studie über die Wirkung des Ausbruchs des Pinatubo



Wie können wir auf den Klimawandel reagieren?

Es gibt vier grundsätzliche – auch kombinierbare – Möglichkeiten, wie wir als Menschheit mit dem Klimawandel umgehen können:

- 1.) den Klimawandel ignorieren (wodurch sich die Probleme immer weiter verschärfen werden)
- 2.) Geo-Engineering betreiben (Station 22)
- 3.) uns an den Klimawandel anpassen (Station 23)
- 4.) den Treibhausgasausstoß drastisch absenken (Station 24 und 25).

Mit Schwefeldioxid das Sonnenlicht dimmen

Der Nobelpreisträger Paul Crutzen schlug im Jahr 2006 vor, die Erdatmosphäre abzukühlen, indem künstlich Schwefeldioxid in die Stratosphäre ausgebracht wird, damit diese mehr Sonnenlicht reflektiert. Dies für den Fall, dass es nicht zu erfolgreichem Klimaschutz kommen und der Klimawandel sich beschleunigen sollte. Das Verfahren kann wirken, dies zeigte 1991 der Ausbruch des Vulkans Pinatubo auf den Philippinen. Etwa 17 Millionen Tonnen Schwefeldioxid stiegen in die Stratosphäre auf, die in etwa 10 km Höhe beginnt. Im globalen Mittel wurde es damals für ein Jahr um 0,4°C kälter, bis die Schwefelverbindungen wieder nach unten sanken.

Der Mensch könnte mit 25 km langen Schläuchen, die von Heliumballons getragen werden, SO₂ in die Stratosphäre emittieren, und dies für Kosten in Höhe von einigen Milliarden US-Dollar pro Jahr (Abb. 1).

Nebenwirkungen: Ein blauer Himmel würde der Vergangenheit angehören. Stratosphärisches Ozon, unser UV-Schutz, könnte abgebaut werden. Zudem erhielte man ein sich vom Ausgangsklima unterscheidendes Klima, bei dem z. B. der afrikanische und asiatische Sommermonsun stark beeinflusst werden würden – die Nahrungsversorgung von Milliarden Menschen wäre gefährdet.

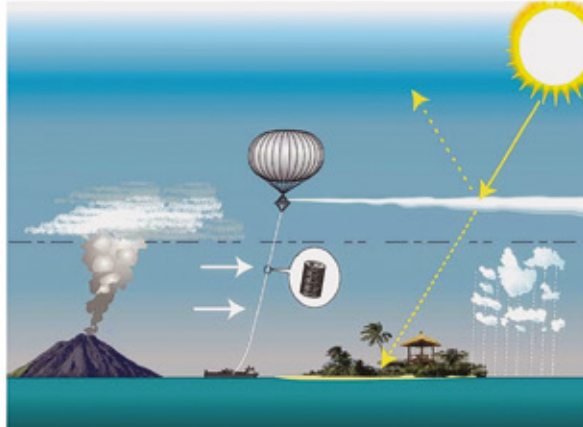


Abb. 1: Schwefeldioxid in die Stratosphäre ausbringen – eine Technik zur Verringerung der Sonneneinstrahlung.
Quelle: Vox Nightrun - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35490130>

Mit Eisen das Meer düngen und die CO₂-Konzentration senken

Die Idee klingt bestechend: Man düngt diejenigen Regionen der Weltmeere mit Eisen, in denen Eisenmangel das Wachstum der Algen beschränkt. Die Algen könnten sich daraufhin üppig vermehren und dabei CO₂ binden (Abb. 2). Bei ihrem Absterben könnten die Algen in die Tiefe der Ozeane sinken und mit ihnen große Mengen an Kohlenstoff. Ob der Effekt langfristig anhalten würde und welche ökologischen Nebenwirkungen eintreten könnten, ist allerdings ungeklärt.



Abb. 2: Algenblüte vor der argentinischen Küste mit den Abmessungen von 300 mal 50 Meilen.
Quelle: NASA - <https://www.nasa.gov/content/images/content?size=1024&context=1>
giphy.com/mememedia.org/w/index.php?curid=735382

Geo-Engineering – große Ingenieurskunst?

Geo-Engineering bezeichnet gezielte, meist großtechnische Eingriffe in das Klimageschehen (Abb. 3):

- Strahlungs- oder Radiation Management (RM) soll die auf der Erde einfallende Sonnenstrahlung verringern oder ihre Reflexion erhöhen und damit die Temperatur der Erde direkt beeinflussen (Abb. 4).
- Carbon Dioxide Removal (CDR) soll biologische, chemische oder physikalische Prozesse auslösen, die den atmosphärischen CO₂-Gehalt senken.

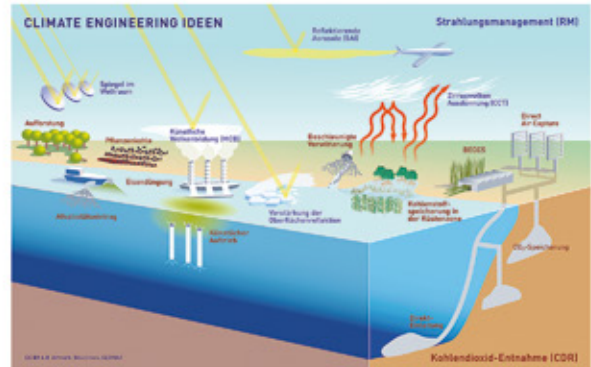


Abb. 3: Ideen für Geoengineering.
BECCS steht für die Nutzung von Biomasse mit CO₂-Abscheidung und -Deponierung, Direct Air Capture für die (jeune) technische Entnahme und Deponierung von CO₂ aus der Luft.
Quelle: Rita Irwin, Geoengineering, <https://www.bbc.com/news/science-environment-150815>



Abb. 4: Auch eine Form von Strahlungsmanagement: Eisbecher mit Schirmchen
Foto: Boris

Fazit:

Geo-Engineering verursacht Probleme:

- Bei allen menschlichen Eingriffen ist mit z. T. unvorhersehbaren Nebenwirkungen, z. B. mit Niederschlagsänderungen, zu rechnen. Im globalen Maßstab kann das verhängnisvoll für die ganze Menschheit sein!
- Jede Maßnahme kann einzelnen Staaten / Menschen nützen, anderen schaden. Wer entscheidet darüber? Steigt dadurch die Gefahr von Kriegen?
- Maßnahmen des Strahlungsmanagements ändern nichts an der drohenden Versauerung der Weltmeere durch CO₂ (Kohlensäure).
- Manche Geo-Engineering-Maßnahmen sind extrem teuer oder praktisch undurchführbar.
- Über Geo-Engineering zu reden, kann dazu dienen, von Forderungen nach Klimaschutz abzulenken, eine Art Beruhigungspille für die Öffentlichkeit.

Geo-Engineering bietet eine Chance:

- Sollte sich das Klima unerwartet schnell wandeln oder Klimaschutz global scheitern, könnte Geo-Engineering vielleicht der letzte Ausweg sein.





Die möglichst weitgehende Verringerung der Klimaanfälligkeit wird als Anpassung bezeichnet.

Stefan Rahmstorf, Hans-Joachim Schellnhuber, Klimawissenschaftler, 2006



■ An den Klimawandel anpassen: eine Alternative?

Geo-Engineering birgt zahlreiche Risiken (Kap. 22), der Klimawandel sowieso (Kap. 7 – 21). In wie fern letzterer ein Risiko darstellt, hängt von der konkreten **Klimagefahr** (z. B. Sturmflut), der **Exposition** (z. B.: Wie viele Menschen sind überflutungsgefährdet?) und dem Ausmaß der **Verwundbarkeit** ab. Diese lässt sich durch **Anpassungsmaßnahmen** verringern (Abb. 1). Warum also nicht den Klimawandel hinnehmen und sich daran anpassen? Dass Anpassung wirken kann, zeigt Bangladesch: 1970 kamen durch den tropischen Wirbelsturm Bhola bis zu einer halben Million Menschen ums Leben. 2020 zog der Zyklon Amphan mit ähnlicher Zugbahn und noch mehr Wucht übers Land, doch dank erfolgreicher Anpassungsmaßnahmen, etwa verbesserter Wettervorhersage und aus den Fluten ragenden Schutzbauten, starben »nur« 128 Menschen. Für zwei zentrale Folgen des Klimawandels werden Möglichkeiten der Anpassung vorgestellt: für den Anstieg des Meeresspiegels und für Hitzewellen.

■ Anpassen an den Anstieg des Meeresspiegels

An Küsten können **Dämme** vor Fluten schützen, falls der Untergrund nicht allzu wasserdurchlässig ist, an Flüssen **Barrieren** (Abb. 2 – 4). Man könnte auch **schwimmende Häuser** oder Inseln errichten, wenn die finanziellen Mittel dafür ausreichen. Wenn alle Anpassungsmaßnahmen nicht helfen, bleiben als letzte Anpassung an Fluten die **Umsiedlung** oder **Flucht**.

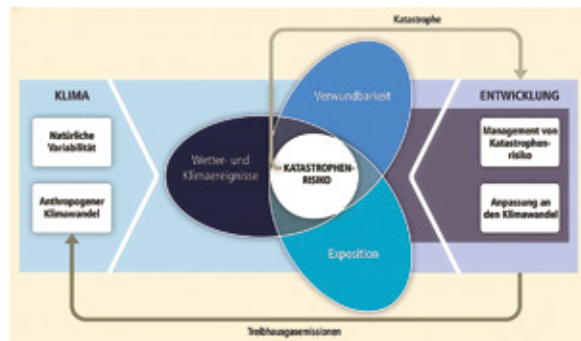


Abb. 1: Wovon Katastrophenrisiken abhängen.

https://www.gpi.ch/Dateien/Agenda/2020/GPI-GRK-SPM_verlaufige-Unterrichtung_Jan2020.pdf S.



Abb. 2: Als Anpassung an den steigenden Meeresspiegel kann man Deiche erhöhen.

Pedro Guerra



Abb. 3: Deich mit Flussmündung.
Welchem Meeresspiegelanstieg kann man mit höheren Deichen noch trotzen? Das hängt auch davon ab, wie Flüsse bei steigendem Meeresspiegel noch ins Meer gelangen können.

Peter Garcia



Abb. 4: Ein verschließbares Hochwasserschutztor in Hamburg

ADG, 4.1

■ Anpassen an Hitzewellen

Bei Hitzezellen schützen **Klimaanlagen**, die aber wegen ihres hohen Energiebedarfs den Klimawandel noch verschärfen können (**Fehlplanung?**). **Hitzeaktionspläne** klären u. a., wie besonders gefährdete Menschen: Kinder, Kranke, Alte und Obdachlose, ausreichend trinken können und Zugang zu kühlen Räumen bekommen. **Klimaanpassung** beginnt schon bei der **Stadtplanung**: **Städte** können **grüner, blauer und weißer** werden: Pflanzen und Wasser sorgen an heißen Tagen für Beschattung und abkühlende Verdunstung, weiße Oberflächen reflektieren das Sonnenlicht, so dass weniger davon in Wärme umgewandelt wird (Abb. 5 – 7). Aus dem Umland strömt nachts **Kaltluft** in städtische **Wärmeinseln** und sorgt für angenehme Abkühlung, wenn man die **Frischluftschneisen** von Bebauung freihält. **Schwammstädte** mit **Versickerungsflächen** statt **Asphalt** und **Dachziegeln** speichern **Niederschläge**, versorgen Pflanzen bei Dürre mit Wasser und erzeugen **Verdunstungskälte**.



Abb. 5: Grüner: Fassaden- und Dachbegrünung in Stuttgart

For more information, contact:



Abb.6: Blauer: Springbrunnen und Sprühnebel sorgen in einer polnischen Kleinstadt für Abkühlung

John G. Smith
John G. Smith



Abb.7: Weißer, heller Straßenbelag im Kontrast mit dunklem, beide von d

James Barry

Fazit:

Die Anpassung an den Klimawandel bietet Chancen:

- *Klimaanpassung ermöglicht, einige schlimme Folgen des Klimawandels zu verringern oder zu vermeiden.*
- *Klimaanpassung erfordert nicht zwingend eine globale Zusammenarbeit. Jedes Land kann selbst entscheiden, wieviel und welche Anpassung es für notwendig hält, sofern die finanzielle Mittel dafür vorhanden sind.*

Klimaanpassung wirft aber auch Probleme auf:

- **An welchen Klimawandel soll man sich denn anpassen?** Wie viel wärmer wird es werden? Wie stark wird der Meeresspiegel ansteigen? Wo wird es trockener, wo feuchter werden? All das ist vor Ort nicht genau abzuschätzen.
- **Anpassung verhindert nicht alle Schäden und Verluste,** z. B. bei zunehmend stärkeren tropischen Wirbelstürmen (Kap. 11).
- **Ethisches Problem:** Viele Menschen werden Schäden erleiden, z. B. ihre Inseln verlieren, wenn uns die Anpassung an den Klimawandel bequemer als seine Vermeidung erscheint.
- **Wer finanziert die Anpassung? Die Verursacher?** Das Versprechen des globalen Nordens, den Ländern des globalen Südens ab 2020 jährlich 100 Milliarden US-Dollar zur Verfügung zu stellen, wurde bisher nicht eingehalten.
- **Es gibt Grenzen der Anpassung:** Bei starkem Klimawandel werden Anpassungsmaßnahmen unbezahlbar oder gänzlich unmöglich sein.



Was es zu retten gilt, ist nicht das Klima oder die Menschheit. Es geht schlicht und einfach darum, die Würde und Rechte der Menschen – und zwar aller Menschen – zu retten.

Friederike Otte, Klimawissenschaftlerin und Attributionsforscherin, 2023



Die hier ausgestellten Brikkettstapel stehen für den unterschiedlich hohen jährlichen Pro-Kopf-Ausstoß an CO₂ in einzelnen Ländern. Eine Brikkettschicht entspricht 1 t CO₂. Ordnen Sie die Stapel den folgenden Ländern zu: China, USA, Deutschland, Äthiopien und Indien.

Der Ausweg

Geo-Engineering ist hoch riskant, Anpassung an den Klimawandel bei starker Erwärmung kaum bezahlbar bis unmöglich. Die Menschheit steht somit nach Hans-Joachim Schellhuber beim Klimawandel vor zwei Aufgaben:

- Das Unbewältigbare vermeiden, also einen extremen Klimawandel durch Klimaschutz verhindern.
- Das Unvermeidbare bewältigen, also sich an den unvermeidbaren Teil des Klimawandels anpassen.

Auf wie viel Grad soll der Klimawandel begrenzt werden?

Im 2016 beschlossenen Pariser Klimaabkommen haben sich 194 Länder und die Europäische Union darauf geeinigt, die Klimaerwärmung auf »deutlich unter zwei Grad« (über dem vorindustriellen Niveau) zu begrenzen und »Anstrengungen zu unternehmen«, die Erderwärmung bei 1,5 Grad zu stoppen. Letzteres würde die Risiken für Mensch und Natur deutlich verringern.

Wieviel CO₂ darf noch ausgestoßen werden?

Um den Pariser Klimavertrag einzuhalten, darf nur noch eine begrenzte Menge an CO₂ ausgestoßen werden. Das CO₂-Budget fällt umso kleiner aus, je stärker die globale Erwärmung begrenzt werden soll (Abb. 1). Denn pro 1000 Milliarden Tonnen an emittiertem CO₂ erhöht sich laut Weltklimarat IPCC die globale Temperatur um etwa ein halbes Grad (0,45°C, wahrscheinliche Bandbreite: 0,3°C bis 0,6°C). Der Ausstoß anderer Treibhausgase ist bei der Berechnung der Budgets berücksichtigt. Man kann die Chance erhöhen, eine bestimmte Temperaturgrenze einzuhalten, wenn man noch weniger CO₂ ausstößt. In Paris wurden jedoch nicht vereinbart, wie groß das globale Emissionsbudget sein soll, und wie ein solches Emissionsbudget auf die Staaten aufzuteilen wäre. Nichtstun ist keine Option. Da wir 2025 global 42 Mrd. t CO₂ ausgestoßen haben, lässt sich abschätzen: Jedes Jahrzehnt »weiter so« mit unverändert hohem CO₂-Ausstoß wird die Atmosphäre um weitere etwa 0,2°C aufheizen.

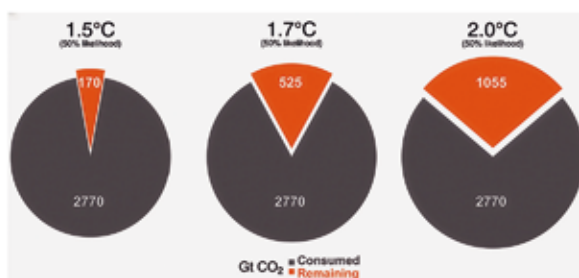


Abb. 1: Verbleibende globale CO₂-Budgets ab 2025 in Milliarden t, um die Erderwärmung (mit jeweils 50% Wahrscheinlichkeit) auf 1,5°C, 1,7°C oder 2°C zu begrenzen (orange Sektoren). Bei unverändert hohem Ausstoß reichen die Budgets nur noch bis etwa 2030, 2038 und 2051 (eigene Berechnung). In Schwarz dargestellt ist die Menge an CO₂ die bis 2025 bereits ausgestoßen wurde.

Die derzeitigen Pro-Kopf-CO₂-Emissionen

Teilt man das nach Abb. 1 ab 2026 noch verbleibende CO₂-Budget für 1,5°C, 1,7°C und 2°C durch die Anzahl der weltweit lebenden Menschen (8,4 Mrd.), steht pro Mensch nur noch ein Budget von 20 t, 63 t oder 125 t CO₂ zur Verfügung. Zum Vergleich: 2025 stieß ein Mensch im Weltdurchschnitt 5 t CO₂ aus, in den meisten Ländern des globalen Nordens deutlich mehr (Abb. 2). Die Höhe des Ausstoßes hängt auch auf individueller Ebene stark vom materiellen Wohlstand ab.

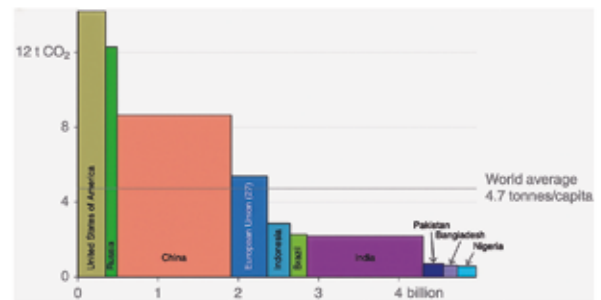


Abb. 2: Pro-Kopf-Ausstoß an CO₂ im Jahr 2024 aus der Verbrennung fossiler Energien und der Zementproduktion für die 10 bevölkerungsreichsten Länder und Staaten (y-Achse). Die Breite der Rechtecke veranschaulicht jeweils die Bevölkerungszahl, die Flächen zeigen den Gesamtausstoß. Das EU-Land Deutschland übertrifft mit 7 t pro Kopf den EU-Durchschnitt. Berücksichtigt man auch Landnutzungsänderungen, erhöht sich das globale Mittel von 4,7 t auf 5,1 t CO₂ pro Mensch.

Der globale Stand beim Klimaschutz

Die Zeit drängt: Allein schon die absehbaren Emissionen aus der bestehenden Infrastruktur für fossile Brennstoffe würden das Kohlenstoffbudget für 1,5°C überschreiten. Stand 2021 gab es laut IPCC erhebliche Lücken zwischen den von den Staaten angekündigten Emissionsminderungen, den hierfür umgesetzten Maßnahmen und dem, was erforderlich ist, um die Klimaziele von Paris einzuhalten. Die umgesetzten politischen Maßnahmen würden zu einer Erwärmung um etwa 3,2°C führen. Die Klimafinanzierung bleibt in allen Sektoren und Regionen hinter dem Niveau zurück, das erforderlich ist, um die Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen.

Leider fehlt es noch immer an entschlossenem Handeln, sowohl auf globaler als auch auf nationaler und meist auch auf individueller Ebene. Der Budgetansatz verdeutlicht indes: Will man eine Temperaturgrenze einhalten, führt zögerliches Handeln dazu, dass man später umso rascher den Ausstoß auf Null senken muss. Senkt man ab 2026 Jahr für Jahr stark die Emissionen, verdoppelt sich die Reichweite der Budgets (Abb. 3).

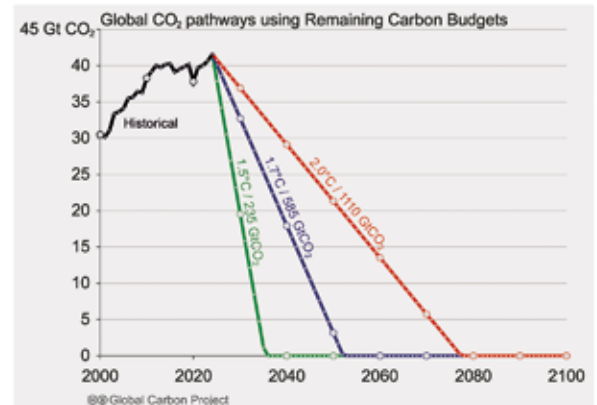


Abb. 3: Mögliche zeitliche Entwicklung der globalen CO₂-Emissionen ab 2025, um CO₂-Budgets und damit globale Erwärmungsschranken (mit jeweils 50% Wahrscheinlichkeit) einzuhalten.

Fazit:

In Paris wurde beschlossen, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst sogar auf 1,5°C zu begrenzen. Klimaschutz in diesem Sinn erfordert laut IPCC »rasche, tiefgreifende und in den meisten Fällen sofortige Treibhausgasreduktionen«.

Im Wesentlichen muss der Klimaschutz in fünf Feldern ansetzen: Wir brauchen eine Energiewende als Elektrizitätswende (Stationen 26, 27, 34 – 36), eine Wärmewende (Station 28), eine Konsumwende (Station 29), eine Ernährungswende (Station 30), eine Verkehrswende (Station 31 – 33), und am besten verknüpfen wir dies alles sinnvoll miteinander über die Elektrifizierung (Sektorkopplung). Zudem brauchen Moore und die tropischen Wälder Schutz, um Kohlenstoff zu speichern.

Klimaschutz bietet die Chance, die Probleme des Klimawandels und der Ozeanversauerung an der Wurzel zu packen und stiftet zusätzlichen Nutzen, z. B. saubere Luft und bessere Gesundheit.





Die Preise müssen die ökologische Wahrheit sagen!

Ernst Ulrich von Weizsäcker, Umweltwissenschaftler und Politiker, 1995



Der Instrumentenkasten für Klimaschutz

Wie lässt sich der Ausstoß an Treibhausgasen global möglichst schon bis zur Jahrhundertmitte auf null senken? Individuelle Anstrengungen alleine reichen dafür nicht, politische Maßnahmen sind unverzichtbar. Den Staaten steht hierfür ein gut gefüllter **Instrumentenkasten** zur Verfügung.

Klimaschutz kann über das **Ordnungsrecht**, also durch **Gebote und Verbote**, angestrebt werden. Beispiele sind das EU-weite Verkaufsverbot für die ineffizienten Glüh- und Halogenlampen, Energieeffizienzlabel sowie Normen für den Energiebedarf von Neubauten oder den CO₂-Ausstoß von Pkw (Stationen 26, 27, 28 und 32). Gesetze und Verordnungen werden oft inhaltlich verwässert, wenn der Druck von Lobbyverbänden über groß ist (Station 35), zudem wird ihre Einhaltung oft nur unzureichend kontrolliert.

Über das Instrument der **Umweltbildung** wird versucht, Verhaltensänderungen, z. B. klimafreundlichere Lebensstile und Konsummuster, zu erreichen. Die **Förderung von Forschung und Entwicklung** kann die Einführung klimafreundlicher Technologien begünstigen.

Ein marktwirtschaftliches Instrument ist die **finanzielle Förderung klimafreundlicher Aktivitäten**, z. B. mit Zuschüssen zur Wärmedämmung oder Installation von Wärmepumpen oder auch die garantierte Einspeisevergütung für erneuerbaren Strom. Die Staaten können sogar Kosten einsparen, wenn sie klimaschädigende fossile Subventionen abbauen (Station 34).

Zwei marktwirtschaftliche Instrumente sind der **Emissionsrechtehandel** und die **CO₂-Steuer**. Mit beiden Instrumenten lassen sich bisher an die Allgemeinheit und zukünftige Generationen abgewälzte externalisierte Kosten des Klimawandels internalisieren, also dem Verursacher in Rechnung stellen. Das Umweltbundesamt ging 2024 von Umweltschäden in Höhe von rund 300 bis 880 Euro pro Tonne CO₂ aus.



Abb. 1: Braunkohlekraftwerk im Rheinland. Braunkohlekraftwerke emittieren (pro kWh) am meisten CO₂. Der Emissionsrechtehandel drängt ihren Einsatz zurück. Foto: Barch

CO₂-Steuer und Emissionsrechtehandel

Die **CO₂-Steuer** ist ein **Preisinstrument**. Jede Tonne an ausgestoßenem CO₂ wird sukzessive höher besteuert, indem Importeure und heimische Förderunternehmen von Kohle, Erdöl und Erdgas belangt werden. Dass der Preis feststeht, sorgt für **Planungssicherheit**. Dafür ist die **Lenkungswirkung** im Hinblick auf das Erreichen eines Reduktionsziels **nur schwer vorauszusagen**.

Beim **Emissionsrechtehandel** müssen die Verursacher für jede Tonne an ausgestoßenem CO₂ handelbare Emissionsrechte erwerben (Abb. 1 und 2). Der **Emissionsrechtehandel** ist ein **Mengeninstrument**, weil eine Regierung oder internationale Institution den Grad an Emissionsenkung über die Menge an ausgegebenen Emissionsrechten direkt festlegen kann. Jedes Unternehmen rechnet, ob der Erwerb von Emissionsrechten oder die Reduktion von Emissionen billiger ist.

So werden die **rentabelsten Investitionen zur Erreichung des vorgegebenen Reduktionsziels** verwirklicht. Die **schwankenden Preise** für Emissionsrechte erschweren jedoch die unternehmerische Kalkulation. Kritisierten kann man am Emissionshandel, dass er das **Recht auf Verschmutzung käuflich** macht.

Emissionsrechtehandel und CO₂-Steuer können die **Inflation** befördern. Die geringen Emissionen armer Menschen haben pro Tonne denselben Preis wie Luxusemissionen reicher Menschen, die entstehen, wenn sie spritdurstige Geländewagen fahren oder um die halbe Welt fliegen. Hier ist ein **sozialer Ausgleich**, etwa in Form eines **Klimagelds** für finanziell schlechter gestellte Menschen **unabdingbar**.

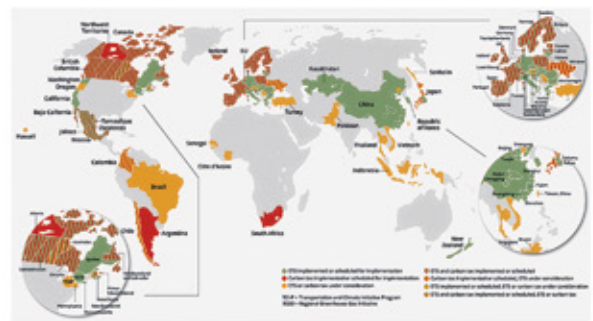


Abb. 2: CO₂ hat 2021 bereits in vielen Staaten einen Preis bekommen, zumeist allerdings nicht in angemessener Höhe hinsichtlich der Schädigung. Oft wird nur ein Teil des emittierten CO₂ erfasst. Grün: CO₂-Emissionshandel eingeführt oder geplant, Rot: CO₂-Steuer eingeführt oder geplant, Gelb: CO₂-Emissionshandel oder CO₂-Steuer erogen.

The World Bank, Washington DC, 2021. "State and Trends of Carbon Pricing 2021" (doi: 10.1093/oxfrhb/1-1048-1728-1, CC BY 4.0) <https://documents.worldbank.org/ViewDoc.aspx?docid=331990919146481728-1>

Emissionshandel in der EU:

Seit 2005 gibt es einen **EU-weiten Emissionsrechtehandel** für **Großemittenten** (derzeit: Kraftwerksbetreiber, energieintensive Industrien, innereuropäischer Luftverkehr). 2025 lag der Preis bei durchschnittlich 74 Euro pro Tonne. 2028 soll EU-weit ein zweiter Emissionsrechtehandel für Heiz- und Kraftstoffe eingeführt werden. In Deutschland gibt es seit 2021 eine CO₂-Abgabe für Heiz- und Kraftstoffe. 2025 lag diese bei 55 Euro pro Tonne CO₂, 2028 wird sie in den EU-Emissionshandel überführt.

Fazit:

Um den CO₂-Ausstoß zu senken, steht Staaten ein ganzer **Instrumentenkasten** zur Verfügung. Es gibt die **marktwirtschaftlichen Instrumente Emissionsrechtehandel**, bei dem vom Staat eine begrenzte Emissionsmenge und handelbare Emissionszertifikate vorgegeben werden und die **CO₂-Steuer**, bei der nicht die Emissionsmenge, sondern der Emissionspreis pro Tonne CO₂ festgelegt wird. Beide Instrumente setzen die Forderung um: **CO₂ und damit Klimaschädigung muss einen Preis bekommen**. **Finanzielle Anreize** für emissionsarme Technologien können ebenfalls zur Absenkung von Emissionen beitragen.

Das Instrument **Ordnungsrecht** ermöglicht die **Festlegung von Geboten und Verboten**. **Umweltbildung** kann Konsummuster und Lebensstile beeinflussen.





Kaum irgendwo sind Fortschritte bei der Erhöhung der Energieeffizienz so sichtbar wie bei der Beleuchtung, und das nicht nur im Wortsinn.

Dieter Barelis, Lehrer, 2017



Versuch:

Leuchten die Lampen ungefähr gleich hell? Die Leistung der Lampen wird in Watt gemessen. Lesen sie diese an den Energiekostenmessgeräten ab.

■ Die Vorteile der LED-Lampe

LED (Licht emittierende Dioden)-Lampen zeichnen sich durch hohe Lichtausbeute bei niedrigem Energieverbrauch und hoher Lebensdauer aus (Abb. 1 – 2). Im Vergleich zu Halogen-Lampen oder Glühlampen (Abb. 3 – 4) senken LED-Lampen den CO₂-Ausstoß um 80% und mehr. LEDs sind in verschiedenen Farben und Farbtemperaturen erhältlich. Erfreulich: Die Preise für LED-Lampen sind in den letzten Jahren **drastisch gesunken**, bei gleichzeitiger **Steigerung der Qualität**.

Die Herstellung von LED-Lampen ist zwar aufwändiger, die **Ökobilanz** fällt dennoch **deutlich besser** als bei den anderen Lampenarten aus, weil die weitaus größere Umweltbelastung von der Nutzung der Lampen ausgeht. Mitunter werden jedoch Leuchten verkauft, bei denen LEDs fest eingebaut sind. Wenn die LEDs irgendwann defekt sind, muss dann gleich die ganze Leuchte entsorgt werden – nicht gut für die CO₂-Bilanz!



Abb. 1: 17-Watt-LED-Lampe als Ersatz für eine Leuchtstoffröhre

Van Hooftville - http://photo.net/5/Fluo-456_USD-17W.jpg, CC BY-SA 3.0
<https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?curid=2985579>



Abb. 2: Effizient und schön:

LED-Fadenlampe mit einem E27-Lampensockel

■ Das Aus für ineffiziente Lampen

Die Glühlampe sorgte für gemächliches warmes Licht, doch eigentlich war sie ein Heizstrahler, der nur nebenbei leuchtete. Nur etwa 5 % der eingesetzten elektrischen Energie wurde in Licht umgewandelt, der Rest in Wärme. Die EU hat dieser Energieverschwendung ein Ende bereitet: Schon seit 2012 dürfen keine Glühlampen mehr verkauft werden, 2018 kam das Aus für die meisten Halogenlampen und seit 2023 dürfen auch Leuchtstoffröhren in der EU nur noch für Spezialanwendungen produziert und verkauft werden.



Abb. 4: Nicht mehr im Handel: Die ineffiziente Halogenlampe.

Van Gammel - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?curid=317643>



Abb. 3: Nicht mehr im Handel: die ineffiziente Glühlampe.

Von KWI - de.wikipedia, CC-BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/funders.php?user=342903>

Kostenvergleich Glühlampe – Halogenlampe – Energiesparlampe

Die Vergleichsrechnung (Abb. 5) zeigt, warum nur noch LED-Lampen verkauft werden dürfen: Die Lampen seien 3 Stunden am Tag angeschaltet. Die Kilowattstunde (KWh) Strom kostete 2025 im Durchschnitt 40 Cent. 1 KWh sorgte beim deutschen Kraftwerksmix 2025 laut Umweltbundesamt für einen Ausstoß von etwa 360 g CO₂.

Lampe:	Leistung	Anschaffungskosten	Stromkosten in zehn Jahren	Gesamtkosten	CO ₂ -Äquivalent
Glühlampe	75 W	10* € 5,50 € = 55,- € (nicht mehr im Handel)	10*365*0,075 kWh*0,40 €/kWh = 329,- €	334,- €	263 kg
Halogenlampe	53 W	5*2,- € = 10,- € (nicht mehr im Handel)	10*365*0,053 kWh*0,40 €/kWh = 232,- €	242,- €	200 kg
LED-Lampe	11 W	1*5,- € = 5,- €	10*365*0,011kWh*0,40 €/kWh = 40,- €	53,- €	41 kg

Abb. 5: Kosten und CO₂-Ausstoß für Glühlampe, Halogenlampe und LED-Lampe im 10-Jahres-Vergleich (eigene Berechnung)

Fazit:

Ersetzt man eine Halogenlampe durch eine LED-Lampe, kann man bei einer täglichen Brenndauer von drei Stunden in zehn Jahren fast 190 Euro einsparen und knapp 160 kg CO₂ vermeiden. Die Glühlampe ist sogar ein noch größerer Stromfresser. Es zeigt sich: Für die tatsächlichen Kosten eines Produkts muss man zum Kaufpreis stets die Betriebskosten hinzurechnen. Diese können im Laufe der Nutzungsdauer die Anschaffungskosten bei weitem übersteigen. Vermeintliche Schnäppchen entpuppen sich dabei häufig als klimaschädigende Kostentreiber.



„Anzunehmen, dass die wirtschaftliche Nutzung von Brennstoffen mit einem geringeren Verbrauch einhergeht, ist eine völlige Begriffsverwirrung. Das genaue Gegenteil ist der Fall.“

William Stanley Jevons, 1865

Kurbeln Sie am Dynamot!

Probieren Sie aus, wieviel Energie Sie durch Kurbeln am Dynamot gewinnen können und ob die kleine Lampe hell aufleuchtet.

Mehr Energieeffizienz!

Elektrische Energie selbst zu erzeugen, ist anstrengend, wie man am Dynamot oder Ergometer schnell zu spüren bekommt. Sollten wir da unsere Energie nicht so effizient und sparsam wie möglich nutzen? Elektrogeräte der energieeffizientesten Klasse anschaffen, die auch kaum Standby-Verluste haben, diese Geräte in Maßen nutzen, in gut gedämmten, nicht überdimensionierten Wohnungen leben und in effizienten Elektrofahrzeugen, mit dem ÖPNV oder mit dem Rad unterwegs sein? So kann durch effizientes und suffizientes Verhalten im Alltag viel Energie gespart werden! (Abb. 1)

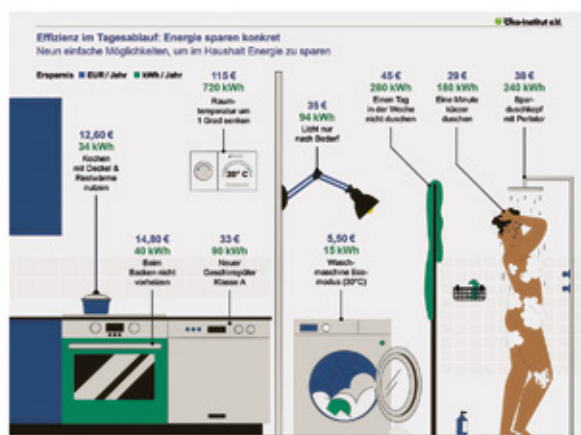


Abb. 1: Energiesparen im Tagesablauf: Was jeder Mensch tun kann
Öko-Institut, CC-BY-SA 2.0 <https://www.oeko.de/Service/nachhaltigewirtschaften/konsum-und-nachfrage/9422209>

Energielabel

Das Energieeffizienz-Label der EU bietet bei der Anschaffung von Haushaltsgeräten und Unterhaltungselektronik Orientierung über den Energiebedarf (Abb. 2). Die Zuordnung zur Energieeffizienzklasse hängt auch von der Gerätegröße ab, bei Kühlschränken z. B. vom Volumen. Deshalb sollte man immer auch die Angaben zum Stromverbrauch in kWh pro Jahr vergleichen.

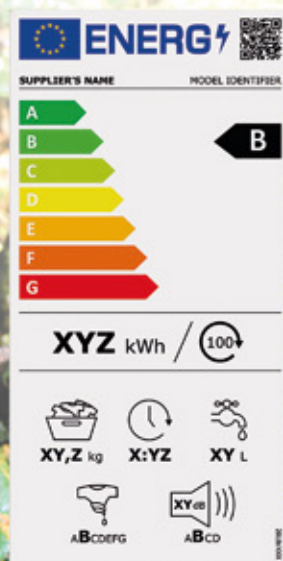


Abb. 2: Das EU-Energielabel (hier am Beispiel für Waschmaschinen) kann eine wichtige Entscheidungshilfe beim Kauf sein.

© European Union, 2010 - 2020, Attribution, <https://european-union.europa.eu/media/default/press/infographic/energy-labels>

Rebound-Effekte

Wir kaufen ein energieeffizientes TV-Gerät, das dann gerne eine größere Bildschirmdiagonale als das Altgerät haben darf. Wir senken die Raumtemperatur um zwei Grad und sparen dabei so viel, dass es für einen Wellnessaufenthalt in einem Hotel reicht. Man wird ja mal nach Mallorca fliegen dürfen, wenn man immer klimafreundlich im Elektroauto unterwegs ist. All das sind Beispiele für **Rebound-Effekte** (rebound = Abprall), die dazu führen, dass das Einsparpotential von Effizienzsteigerungen nur teilweise oder gar nicht verwirklicht wird.

Es gibt unterschiedliche Arten von Rebound-Effekten:

- **Finanzieller Rebound-Effekt:** Effizientere Technologien oder auch genügsames Verhalten sparen Geld ein, das nun für mehr vom selben oder für andere, ebenfalls mit CO₂-Ausstoß verbundene Zwecke zur Verfügung steht.
- **Materieller Rebound-Effekt:** In der Nutzung effizientere Geräte (z. B. LED-Lampen) sind in der Produktion oft mit einem höheren CO₂-Ausstoß als herkömmliche Geräte verbunden.
- **Psychologischer Rebound-Effekt:** Manche schaffen sich ökologische Produkte an und fühlen sich berechtigt, es dafür an anderer Stelle mit dem Klimaschutz nicht mehr so genau zu nehmen. Autofahrer, die sich ein aus ihrer Sicht ökologischeres Auto zugelegt hatten, fuhren weit mehr Kilometer als zuvor.

Rebound-Effekte wirken auch auf gesamtgesellschaftlicher Ebene:

Viele Volkswirtschaften werden immer CO₂- und energieeffizienter, doch ein Teil der Einspareffekte verpufft durch zusätzliches Wirtschaftswachstum (vgl. das Eingangsziel).

Auf individueller Ebene ließe sich das Problem der Rebound-Effekte entschärfen, indem die finanziellen Einsparungen dazu genutzt werden, um weitere Maßnahmen zur CO₂-Einsparung zu finanzieren und zudem durch eine kürzere Arbeitszeit. Eine gesamtgesellschaftliche Lösung wäre wiederum, die Arbeitszeit zu reduzieren, zudem das Abschöpfen von Effizienzfortschritten mit Ökosteuern oder die Beschränkung des Naturverbrauchs mit absoluten Obergrenzen, z. B. für CO₂-Emissionen (Station 25). Es stellt sich zunehmend die Frage, ob anhaltendes Wirtschaftswachstum überhaupt mit Klima- und Ressourcenschutz vereinbar ist.

Fazit:

Verbesserte Energieeffizienz und suffizientes, genügsames Verhalten schützen das Klima und die Umwelt, erhöhen oft die Lebensqualität und sparen häufig Kosten. Der Klimaschutzeffekt verpufft aber, wenn das eingesparte Geld für zusätzliche Produkte oder Dienstleistungen mit hohem CO₂-Ausstoß verwendet wird, das ist ein Rebound-Effekt.



„Längst ist der Plusenergiestandard wirtschaftlicher als das konventionelle Gebäude. Längst ist der Schritt getan vom Einzelhaus zur ganzen Plusenergiesiedlung. Gehen wir weiter. Zu Plusenergiestädten, Plusenergieregionen, zu einer Welt der Plusenergie. Zu Gesamtkonzepten regenerativer Vollversorgung. Zu intelligenter E-Mobilität, mit dem Hausdach als Tankstelle. Wo Verbrauch ist, soll Produktion werden. Häuser zu Kraftwerken!“

Rolf Ditsch, Architekt. In: Plusenergie: Das Handbuch.

Versuch:

Sie sehen zwei Häuschen, die zur gleichen Zeit mit Eis befüllt wurden. Eines der Häuschen ist wärmedämmend. Schauen Sie nach, wo mehr Eis übriggeblieben ist.

Das Plusenergiehaus-Konzept

Der Solar-Architekt Rolf Ditsch hat 1998 – 2006 die weltweit erste Plusenergiesiedlung verwirklicht: In der mit vielen Preisen ausgezeichneten Freiburger Solarsiedlung am Schlierberg wurden 59 Plusenergiehäuser in Holzbauweise mit durchweg wohngesunden Baustoffen erstellt. Eine anspruchsvolle Architektur mit lichtdurchfluteten Räumen sorgt für Wohlbefinden.

Die behaglichen Häuser sind ganz nebenbei Solarkraftwerke, die mehr Energie erzeugen, als die Bewohner verbrauchen (Abb. 1 – 2).



Abb. 1: Die Solarsiedlung in Freiburg.
Foto: Baris



Abb. 2: Belebter Weg in der Solarsiedlung in Freiburg.
Foto: Baris



Abb. 3: Eine Altbauweise wurde 2013 zur gut gedämmten Plusenergieschule mit Wärmepumpe und Photovoltaikanlage, die übers Jahr mehr Energie erzeugt, als die Nutzer fürs Heizen und die Elektrizität benötigen. Die Unihochschule in Stuttgart-Zuffenhausen.
Foto: Baris



Abb. 4: Fassadendämmung am Ferdinand-Porsche-Gymnasium in Stuttgart
Foto: Baris

Die Wärmewende

Auf die Wärme- und Warmwasserversorgung von Gebäuden entfielen in Deutschland 2024 etwa ein Sechstel der Treibhausgasemissionen. Hinzu kommen die Emissionen aus der Nutzung von Elektrizität und der Errichtung und Sanierung von Gebäuden. Besonders klimaschädlich ist das Bauen mit Beton. Bis 2045 soll Deutschland laut Klimaschutzgesetz klimaneutral sein, auch Gebäude dürfen dann praktisch keine Treibhausgase mehr ausstoßen. Diese Wärmewende bedeutet, beim Heizen auf Wärmepumpen umsteigen, klimaneutrale Nah- und Fernwärmenetze ausbauen und mindestens doppelt so viele Gebäude wie bisher pro Jahr dämmen (Abb. 3 – 5). Die bestehenden Erdgasnetze werden dann weitgehend überflüssig.

Der Lobbyismus der Erdgasindustrie

Die Gaslobby schürt aus Gewinninteresse Misstrauen gegen die Wärmewende und den Einsatz von Wärmepumpen. Mit Begriffen wie »Heizungshammer« und »Heizungsverbot« wurde 2023 Stimmung gegen ein Gesetz zur Wärmewende erzeugt, die Bevölkerung verunsichert und die Wärmewende verzögert. Der Entwurf für das Gebäudemodernisierungsgesetz der Bundesregierung von 2026 erlaubt nun wieder die Installation neuer klimaschädlicher Gas- und Ölheizungen, die mit einem steigenden Anteil an Bioenergie betrieben werden müssen. Dies ist ökonomischer und ökologischer Unfug: Mit Erdgas heizen wird sich verteuern, auch, weil hier ab 2028 der EU-Emissionshandel greift. Die erforderliche Menge an Bioenergie wird nicht zur Verfügung stehen. Und: Man kann auf der gleichen Ackerfläche mit Photovoltaik im Vergleich zum Maisanbau für Biogas das 32fache an Energie erzeugen. Wie die Wärmewende gelingt, zeigt das kühle Norwegen: Dort wurden schon 2021 rund 60% der Gebäude mit Wärmepumpen beheizt.

Sparpotenzial für Dämmung und Fenster

So viel Heizkosten und Heizenergie spart ein Einfamilienhaus im Schnitt

Einsparungen Heizkosten pro Jahr für das Beispiel*

Dämmung der obersten Geschossdecke
160 €
7 %

Fassadendämmung
440 €
19 %

Dämmung der Kellerdecke
120 €
5 %

Einsparungen Heizenergie durchschnittlich pro Jahr**

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

160 €
7 %

co2online

Stand: 10/2025 | Daten und Grafik: www.co2online.de

Richtig Heizen und Lüften

- Während der Heizperiode mehrmals täglich mit weit geöffneten Fenstern stoßlüften, die Fenster sollen nicht dauernd gekippt sein (Abb. 6).
- Die Raumtemperatur um 1°C absenken spart 6% Heizkosten und CO₂.
- Bei geschlossenen Rollläden geht weniger Wärme verloren.
- Heizkörper sollten nicht mit Gardinen oder Möbeln verdeckt sein.

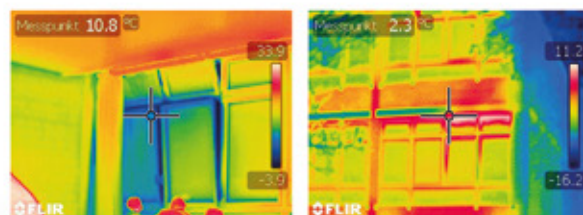


Abb. 6: Infrarotaufnahmen eines ungedämmten Schulgebäudes des Ferdinand-Porsche-Gymnasiums Zuffenhausen. Links: Aufnahme von innen; rechts: von außen. In Rot sind Bereiche mit hoher Temperatur zu sehen, in Blau kalte Bereiche. Auf beiden Fotos sieht man deutlich Unterschiede zwischen nicht gekippten und gekippten Fenstern. In der Außenaufnahme zeichnen sich die Heizkörper unterhalb der Fenster deutlich ab.

Fazit:

Plusenergiehäuser verknüpfen Klimaschutz und Komfort. Auch bei der Sanierung von Altbauten bringen Wärmepumpen oder der Anschluss an Wärmenetze, abgedichtete Fenster und eine gute Dämmung von Außenwänden, Kellern und Dachraum den Klimaschutz voran. Die Politik ist gefordert, die Wärmewende mit strikten Klimaschutzvorgaben und angemessener finanzieller Förderung zu begleiten. Die Raumtemperatur absenken und mit weit geöffnetem Fenster Stoßlüften statt Fenster dauerkippen – damit kann jeder zum Klimaschutz beitragen!

„Wenn sich plötzlich herausstellt, dass etwas, was zuvor als gut und erstrebenswert galt – wie ein Lebensstil mit extrem hohen Emissionen – katastrophale Folgen für unsere gemeinsame Gesellschaft hat, dann sind wir alle dafür verantwortlich, dafür zu sorgen, dass dieser Lebensstil gesellschaftlich genauso inakzeptabel wird, wie gesellschaftliche Normen und Gesetze Diebstahl und Gewalt verbieten.“

Greta Thunberg, Klimaktivistin, Initiatorin der Fridays-for-Future-Bewegung, 2022

Klimafalle Konsum

Die Nutzung von Konsumgütern ist oft mit Energie verbunden. Innerhalb des Produktlebenszyklus erfordern aber auch Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung von Produkten sowie die Nutzung von Dienstleistungen Energie, sogenannte »Graue Energie« und verursachen damit Treibhausgas-Emissionen. Im deutschen Durchschnitt hat beim persönlichen CO₂-Fußabdruck der Konsumbereich vor Wohnen, Mobilität und Ernährung den größten Anteil. (Abb. 1). CO₂-Bilanzen für Produkt-Lebenszyklen geben Hinweise für klimafreundliche Kaufentscheidungen (Abb. 2): Bei Smartphones und Computern empfiehlt sich, das Gerät so lange wie möglich zu nutzen, da ein hoher Anteil seines Treibhausgasausstoßes bei der Produktion anfällt. Dagegen ist es oft klimafreundlich, alte, ineffiziente Kühlschränke durch sehr effiziente A-Geräte zu ersetzen.

Durchschnittlicher CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland



Abb. 1: Durchschnittlicher CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland.

Um den Ausstoß von verschiedenen Treibhausgasen sinnvoll zu bilanzieren, werden diese in die Menge CO₂ umgerechnet, die eine vergleichbare Erwärmungswirkung hat (CO₂-Äquivalente, CO₂e). Der Konsum von Elektrogeräten, Textilien etc. hat mit 28% den höchsten Anteil. Zu Wohnen gehört insbesondere Heizen und die Warmwasserbereitung. Das Umweltbundesamt bietet zudem einen empfehlenswerten Überblick, wie sich der persönliche Fußabdruck halbieren lässt: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klimaschutz/sozialer-umweltschutz/sozialer-umweltschutz>



Abb. 2: CO₂-Fußabdruck eines Smartphones (Fairphone 3). Fast drei Viertel des Ausstoßes von Treibhausgasen entfällt auf die Produktion.



Müllberge

Am Ende des klassischen Produktlebenszyklus steht die Entsorgung (Abb. 3). In Deutschland fiel 2023 im Schnitt pro Mensch über 400 kg Haushaltsmüll an, davon ca. 150 kg Restmüll. Aus Bequemlichkeit landet im Restmüll immer noch viel dort kaum Recycelbares: Biomüll, Altpapier, Altglas, Kunststoffe und Elektroaltgeräte. Die Müllmenge hat sich im Vergleich zu vor 20 Jahren praktisch nicht verändert. Wir brauchen eine Kreislaufwirtschaft, in der Müll kaum noch vorkommt.

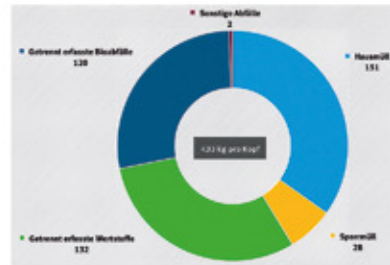


Abb. 3: Haushaltsabfälle (inkl. hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle, ohne Elektronikschrott) in Deutschland 2023 (gesamt: 433 kg pro Mensch). <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall/hausmüll>

Reduzieren Sie Ihre Müllmenge!

- Vermeiden Sie Müll (»refuse« und »reduce«)**
 - Bevorzugen Sie langlebige, reparaturfähige Produkte, nutzen Sie Akkus statt Batterien und vermeiden Sie Fast Fashion
 - Verwenden Sie Mehrwegverpackungen, z. B. Pfandmehrwegflaschen
 - Bestellen Sie wegen des Verpackungsmülls wenig im Internet
 - Nutzen Sie Produkte sparsam
 - Trinken Sie Leitungswasser und nutzen Sie Selbsterzeugtes statt Gekauftes
- Verwenden Sie „Müll“ erneut (»reuse«):** Kaufen Sie z. B. in Second-Hand-Shops ein
- Trennen Sie Müll (»recycle«):** z. B. Papier, Kartons, Verpackungen (gelber Sack), Biomüll, Altglas, Elektronikschrott und Batterien
- Geben Sie den (Rest-)Müll in die Mülltonne, nicht in die Landschaft und auch nicht ins Klo**

Die Einkaufsmacht der Verbraucher

Wenn es um Klimaschutz geht, fühlen sich viele Menschen machtlos. Doch gegen die **Einkaufsmacht der Verbraucher** kommt auf Dauer niemand an: Der Kunde bestimmt, was im Einkaufswagen landet. Die einst gefragten Mäntel aus Babyrobbeffell mag heute kaum noch jemand tragen. Es ist zu wünschen, dass klimaschädliche Produkte ebenso unverkäuflich werden! Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Käufer u. a. mit Energielabeln über die Umwelt- und Klimawirkung von Produkten informieren können und sich nicht durch Werbung blenden lassen. Besonders klimaschädliche Produkte sollten gar nicht mehr beworben oder hergestellt werden dürfen, wenn es Alternativen gibt. Im Internet finden sich **Produktvergleiche**, die bei der Kaufentscheidung helfen, z. B. die Broschüre »Besonders sparsame Haushaltsgeräte« unter <https://www.verbraucherportal-bw.de>

Fazit:

Es ist sinnvoll, schon beim Kauf auf energieeffiziente Produkte, den Produktlebenszyklus, graue Energie und Müllvermeidung zu achten. Verbraucher haben eine immense Einkaufsmacht, da auf Dauer nichts hergestellt wird, was keine Nachfrage findet. Im Blick auf die Herausforderungen beim Klimaschutz müssen wir uns auch fragen, wie viel Konsum wir unserer Mit- und Nachwelt noch zumuten dürfen. Hersteller müssen sich ihrer Produktverantwortung stellen, der Staat muss den Herstellern die Einhaltung ökologischer Standards, z. B. den Umstieg auf Kreislaufwirtschaft, vorgeben.



Tedros Ghebreyesus, Generaldirektor der Weltgesundheitsorganisation (WHO), basierend auf einer Studie von 2016 der Oxford Martin School

Wer bei der Ernährung zum Klimaschutz beitragen will, sollte weniger Fleisch- und Milchprodukte essen und möglichst keine essbaren Nahrungsmittel wegwerfen. Lebensmittel saisonal und regional zu kaufen, spart weitere Emissionen ein. Auch auf dem Einkaufsweg und bei der häuslichen Lagerung und Zubereitung bestehen Möglichkeiten, den eigenen Treibhausgas-Ausstoß zu senken.



„Würden Flugreisen – die bekanntlich den maximalen Klimaschaden verursachen, den ein einzelnes Individuum auf legale Weise erzeugen kann – entsprechend ihrer tatsächlichen Kosten besteuert, könnte wohl nur noch ein sehr kleiner Personenkreis fliegen.“

Niko Paech, Wirtschaftswissenschaftler, 2012



Der Verkehr verbindet Menschen, Dörfer, Städte, Länder. Verkehr steigert das Wohl der Menschen und schadet ihnen zugleich immens. Wie kann der Verkehr menschen- und klimafreundlich werden? Dazu informieren die Stationen 31 – 33.

■ Das Fliegen hat Nebenwirkungen

Fliegen lässt die Welt zusammenrücken. Doch leider hat dies Nebenwirkungen: Aus den Triebwerken der Flugzeuge entweichen neben CO₂ auch Wasserdampf, Stickoxide sowie Aerosole, etwa Partikel aus Ruß oder Schwefeldioxid, sowie weitere Abgase. Stickoxide lassen in der Atmosphäre vermehrt das Klimagas Ozon entstehen. Sie bewirken zwar auch den Abbau des Klimagases Methan, der Ozoneffekt überwiegt aber. An den Aerosolen kann Wasserdampf aus den Abgasen bzw. mit Feuchtigkeit gesättigte Umgebungsluft kondensieren, es entstehen dadurch Kondensstreifen bzw. hohe, faserige Eiswolken, die Zirkuswolken (Abb. 1 – 2). Beide strahlen von der Erde kommende Wärmestrahlung zurück und verstärken so den Treibhauseffekt (Station 5). Um die Erwärmungswirkung von Flügen realistisch zu erfassen, muss deshalb der reine CO₂-Ausstoß der Flugzeuge je nach Modellannahme mit einem Faktor zwischen 2,3 und 5,0 multipliziert werden. Das unterschlagen die Fluggesellschaften bei ihren CO₂-Emissionsrechnern. Das Flugzeug ist das klimaschädlichste aller Verkehrsmittel und pro Passagier und km mindestens viermal so klimaschädlich wie der Fernverkehr mit der Bahn.



Abb. 1 und Abb. 2: Kondensstreifen und Zirkus, einmal vom Erdboden, einmal vom Weltall aus betrachtet.
Foto: Barak / Foto: Gerdner, https://commons.wikimedia.org/index.php?curid=212362

■ Wie klimaschädlich ist Fliegen?

Mithilfe des Rechners der gemeinnützigen Organisation Atmosfair lässt sich die Klimawirkung von Flügen berechnen. Abb. 3 zeigt die Werte pro Passagier für einige beliebte Reiseziele.

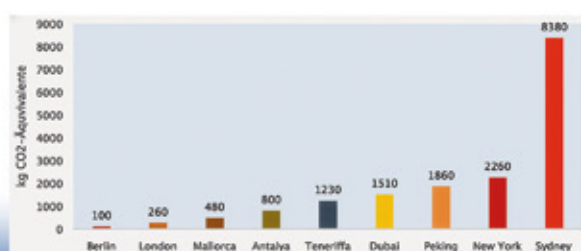


Abb. 3: Klimawirkung von Flügen zu einigen beliebten Reisezielen
Die Angaben gelten pro Passagier für einen Hin- und Rückflug in der Economy-Class ab Frankfurt/Main. Angegeben ist die Menge an CO₂, die der gesamten Klimabelastung des Fluges entspricht (CO₂-Äquivalente). Zum Vergleich: Der durchschnittliche Treibhausgasausstoß eines Menschen in Deutschland lag 2025 bei 10,4 Tonnen CO₂-e.

www.atmosfair.de abgerufen am 15. Januar 2026, gerundet auf 10 kg

■ Fliegen – Grenzenlose Freiheit?

Fliegen ist für viele Menschen der Inbegriff von Freiheit (Abb. 4). Heute hier, morgen dort: Das Flugzeug ermöglicht es, das Leben immer ortsungebunden zu führen. Dabei verleiht nichts einem Individuum eine derartige Hebelwirkung beim Treibhausgasausstoß wie das Fliegen. Auch viele Schulen bieten Studienfahrten oder Austausch in – ganz einfach per Flugzeug erreichbare – ferne Länder an.



Abb. 4: Über den Wolken grenzenlose Freiheit?
von Luis Agerich from Argentina (Plick) [CC BY 3.0], via Wikimedia Commons

Gewimmel am Himmel – ein paar Fakten

- Der Anteil des Flugverkehrs an der globalen Erwärmung liegt bei etwa 5 – 8 %, der Anteil nur an den CO₂-Emissionen bei 3%. Ein Prozent der Weltbevölkerung ist für die Hälfte der Flugemissionen verantwortlich.
- Innerhalb der 20 Jahre von 2023 bis 2043 wird mit einer Verdoppelung der Anzahl der Flugreisenden auf dann 8,6 Milliarden Passagiere gerechnet.
- Im Jahr 2025 haben die deutschen Flughäfen 220 Millionen abfliegende und ankommende Fluggäste gezählt, 3,6 % mehr als im Jahr 2024. Die Fluggastzahl auf Inlandsflügen hat sich 2025 gegenüber 2019 fast halbiert.
- Bis 2050 will die Luftfahrt klimaneutral werden. Mit auf Basis von erneuerbaren Energien gewonnenen klimafreundlicheren E-Fuels ist im erforderlichen Umfang bis dahin jedoch kaum zu rechnen. Wollte man den gesamten Kerosinbedarf in der EU mit Biosprit aus Algen decken, bräuhete man dafür eine Fläche so groß wie Portugal!

Fazit / Tipps:

- Beachten Sie:
Das Flugzeug ist das klimaschädlichste Verkehrsmittel.
- Vermeiden Sie Kurzstreckenflüge, nutzen Sie stattdessen besser die Bahn.
- Wenn Sie fliegen: Ein großzügiger Platz in der Business- oder First-Class kann im Vergleich zum Platz in der Economy-Class einen mehrfachen Treibhausgasausstoß bewirken – Ist das nötig?
- Wenn Sie fliegen: Fliegen Sie seltener, bleiben Sie dafür länger und kompensieren Sie Ihre Treibhausgasemissionen z. B. mit atmosfair.de. Die Emissionen werden dann an anderer Stelle eingespart.
- Der grenzüberschreitende Luftverkehr in Europa ist von der Mehrwertsteuer befreit – anders als die klimafreundliche Bahn. Auf Kerosin wird auch keine Energiesteuer erhoben. Allein diese beiden Vergünstigungen kosten den deutschen Staat 12 Milliarden Euro. Fordern Sie einen Subventionsstopp!
- Auch dank internationalem E-Commerce wird immer mehr Luftfracht transportiert. Pro Tonne Ware und pro km trägt der Lufttransport über 50mal so viel zur Erderwärmung bei wie der Transport per Schiff. Vermeiden Sie E-Commerce!



„Aber während die Chinesen an Innovationen tüftelten und deutliche staatliche Vorgaben für den Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor vorbereiteten, bastelten einige deutsche Autobauer an innovativer Manipulationssoftware und setzten sich mit aller Kraft dafür ein, die Umwelt-Vorgaben zu verwässern.“

Horst Köhler 2016, deutscher Bundespräsident von 2004 bis 2010



Abb. 1: Der Golf I und der deutlich größere und schwerere Golf VIII

Von allen Autos: Ikon (London, UK - 1981), CC BY-SA 3.0: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Volkswagen_Golf_VIII_2009.jpg Alexander Höp - Own work CC BY-SA 4.0

■ Pkw: größer, schwerer, immer mehr

Autos sind mehr als Fortbewegungsmittel. Sie ermöglichen Fahrspaß, mobile Privatsphäre und sind Ausdruck von Status und (trotz aller Staus) Freiheitsgefühl. Seit vielen Jahrzehnten fördert die Politik das Auto, indem sie Landstraßen und Autobahnen ausbaut, Innenstädte und Ortsdurchfahrten „autogerecht“ gestaltet sowie rechtliche und steuerliche Anreize für die Benutzung von Pkw setzt. Die Automobilhersteller heizen mit immensen Werbeaufwand die Bedürfnisse ihrer Kunden nach Fahrzeugen an und produzieren immer mehr und größere, bevorzugt SUV. Seit 2000 wachsende neu verkaufte Pkw in Deutschland jedes Jahr im Schnitt um 1,2 Zentimeter in die Länge und 0,5 Zentimeter in die Höhe. Der 2019 vorgestellte VW Golf VIII ist im Vergleich zum ab 1974 produzierten VW Golf I 58 cm länger, 18 cm breiter, 8 cm höher und über zwei Drittel schwerer geworden (Abb. 1).

Aus diesen Gründen und weil Personen- und Güterverkehr wachsen, ist der Anteil des Verkehrs an den Treibhausgasemissionen im Zeitraum 1990 bis 2023 von 13 % auf 22 % gestiegen. Übrigens: Führt man mit einem Verbrenner-SUV (Porsche Cayenne GTS Coupé) im Jahr 25.000 km, erreicht man den durchschnittlichen Pro-Kopf-CO₂-Ausstoß eines Deutschen von 7 t allein schon beim Autofahren (Abb. 2).



Abb. 2: Auf Deutschlands Straßen fahren immer mehr SUV.

■ Fahrzeuge schädigen Gesundheit und Umwelt

Im Jahr 2015 waren in Deutschland etwa 13.000 frühzeitige Todesfälle auf Feinstaub und Ozon aus dem Verkehrsbereich zurückzuführen, fast viermal so viele, wie bei Verkehrsunfällen gestorben sind. Hinzu kommen die Belastungen durch Lärm, Flächenverbrauch und Zerschneidung von Naturräumen (Abb. 3 – 4).

■ Tempolimit?

Der CO₂-Ausstoß ist bei Tempo 170 etwa doppelt so hoch wie bei 100 km/h. Bei einem Tempolimit fließt der Verkehr gleichmäßiger, weniger Staus und weniger Unfälle sind die Folge. Zudem könnte ein Tempolimit den Anreiz für die Anschaffung immer PS-stärkerer PKW verringern. Ein Tempolimit von 100 km/h auf Autobahnen und 80 km/h auf Landstraßen würde laut einer Studie die Treibhausgasemissionen beim Straßenverkehr in Deutschland um 8 % absenken.

■ Aus für Verbrennerautos?

Im April 2023 wurde beschlossen, dass ab 2035 in der EU neu zugelassene Pkw kein CO₂ mehr ausstoßen dürfen, da die EU das Ziel hat, ab 2050 klimaneutral zu sein. Im Dezember 2023 schlug die EU-Kommission dennoch vor, auch noch nach 2035 in begrenztem Umfang Verbrenner zuzulassen. Zuvor hatten die Automobilbranche und Mitgliedsländer wie Deutschland und Italien massiv Druck ausgeübt. Mit hohem Lobbyaufwand, Schlagwörtern wie „Technologieoffenheit“, großzügigen Parteipenden und unter Ausblenden von Fakten wird versucht, dem Verbrenner-Auto eine politische Zukunft zu sichern. Unter Experten ist dagegen klar: Der Verbrenner steckt in der Sackgasse, auch wenn man ihn mit E-Fuels betankt: Mit Strom kommt ein rein batterieelektrisch angetriebenes Auto fünf bis sieben Mal so weit wie ein Verbrenner mit aus derselben Menge an Strom hergestellten E-Fuels. Wer will teure E-Fuels tanken, wenn man mit dem E-Auto viel günstiger fährt?

Ein Festhalten am Verbrenner-Pkw würde das Klima schädigen – und die Automobilindustrie mit dazu: Schon seit 2017 gehen die weltweiten Verkäufe von Verbrenner-Autos zurück, die von Elektrofahrzeugen wachsen rasant. Viele Länder, z. B. Dänemark und Schweden, haben Verkaufs- oder Zulassungsverbote für neue Verbrenner ab 2030, Norwegen seit 2025 und Äthiopien faktisch seit 2024.



Abb. 3: Stau in Stuttgart: Wer Straßen sät, erntet Verkehr



Abb. 4: Verkehrs-Trassen verschandeln das Land

Steueranreize und Ausgaben, die den Verkehr in die falsche Richtung steuern:

- Dienstwagen werden steuerlich begünstigt, Spritfresser besonders stark. Das kostete den deutschen Staat im Jahr 2023 fast 14 Milliarden Euro.
- Die Pendlerpauschale fördert CO₂-Emissionen und den Landschaftsverbrauch durch immer weiter ins Umland wachsenden Städte.
- Beim Autoverkehr gibt es viele versteckte Kosten, etwa Ausgaben für den Bau und Unterhalt von Straßen und Parkplätzen (Abb. 5 – 6). Die Kommunen decken weniger als die Hälfte dieser Ausgaben durch direkte Einnahmen.
- Verkehrssteuern erfassen kaum die externen Kosten des Verkehrs für Klima, Umwelt und Gesundheit.



Abb. 5: Das Problem mit dem Stadtbild: Pkw beanspruchen immense Flächen, auch zum Parken.



Abb. 6: Platz für Autos oder Platz für Menschen?

Fazit – Wie jeder als Pkw-Nutzer das Klima schützen kann

- Falls Sie ein Fahrzeug benötigen, nutzen Sie Car-Sharing-Angebote.
- Bevorzugen Sie einen Kleinwagen mit Elektroantrieb. Achten Sie beim Kauf eines Verbrenners auf den CO₂-Ausstoß, Angaben zu allen Automodellen liefert <https://www.dat.de/co2/>
- Fahren Sie selten und klimaschonend, Tipps: <https://www.vcd.org>





Mir ist es eingefallen, während ich Fahrrad fuhr.

Albert Einstein, deutsch-schweizer Physiker und Nobelpreisträger, 1879 – 1955,
über die Entdeckung der Relativitätstheorie



Die neue Auto-Mobilität

Auto-mobil sein bedeutet »selbst-beweglich« sein. Immer mehr Menschen entdecken: **Der Mensch ist auto-mobil – ganz ohne Automobil.** Mobilität geht ohne teuren Klima, Umwelt und Gesundheit schädigenden Treibstoff ganz einfach mit dem Rad oder zu Fuß. **Radfahrer und Fußgänger sind auto-mobil.** Das **Auto-mobil macht den Menschen dagegen im doppelten Sinn immobil.** Der in das Auto eingezwängte Mensch ist immobil, weil er während der Fahrt auf seinem Sitz nahezu bewegungslos verharren muss. Und zusätzlich wird er immer öfter immobil, weil das Automobil gerade im Stau steckt.

Radfahren und zu Fuß gehen haben viele Vorteile:

- Beides spart Energie und ist dabei praktisch zu 100% klimaneutral
- ... verursacht keine Abgase, praktisch keinen Feinstaub und kaum Lärm
- ... benötigt wenig Verkehrsfläche und vermeidet Staus
- ... entspannt
- ... hält körperlich fit, fördert die Gesundheit und stärkt die Abwehrkräfte



Abb. 1: Verkehrsknotenpunkt in Eisingen/ Filz vor und nach der Umgestaltung. Fußgänger und Radfahrer können jetzt die Kreuzung problemlos ebenerdig queren. Foto: unbekannt / Thomas Götthardt DOK, Göttingen (Jusschmitt verändert)



Abb. 2: Radwege in Deutschland: oft noch holprig und im Nichts endend. Foto: Barck



Abb. 3: Radfahren sichtbar machen: Die Cristal Mass findet einmal im Monat in vielen Städten weltweit statt, wie hier in Stuttgart. Foto: Barck



Abb. 4: Radbrücke in Tübingen
<https://www.bauportal.de/index.php?curid=22424> (Jusschmitt verändert)

Klimafreundliche Mobilität mit dem Rad

Das Fahrrad kann dazu beitragen, Mobilität klima-, stadtverträglich und menschenfreundlich zu gestalten. Kein Verkehrsmittel braucht weniger Energie als das Rad. Um einen Kilometer zurückzulegen, braucht man auf dem Rad 0,3 Wattstunden, als Fußgänger schon das Dreifache, im Omnibus etwa das 25-fache und im Auto (ohne Beifahrer) mit 17,4 Wattstunden mehr als das 50-fache. Mit E-Bikes sind auch steile Strecken kein Problem. Mit unterstützendem Elektroantrieb ausgestattete **Lastenräder** ermöglichen Warentransporte. Vielerorts kann man sie übers Internet leihen.

Radpolitik

Vorausschauende Städte, Länder und Staaten fördern den Radverkehr und erhöhen die finanziellen Mittel dafür kräftig. Weltweite Vorbilder finden sich in den Niederlanden und Dänemark. Während in Deutschland im Schnitt nur 13 Prozent aller Strecken mit dem Rad zurückgelegt werden, sind es in der Hauptstadt Dänemarks bereits über 40%. Ein Mix an Maßnahmen bringt die Menschen aufs Rad, z. B. der Ausbau von Fahrradwegen, -straßen und Radschnellwegen und ihre Verknüpfung zu einem durchgängigen Wegenetz (Abb. 1 und Abb. 4, Abb. 2 zeigt ein Beispiel für Nachholbedarf), der Aufbau von Abstellmöglichkeiten, Servicestationen und Leihsystemen, die Vernetzung mit Bussen und Bahnen, die Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Akzeptanzförderung für das Radfahren und politischer Druck (Abb. 3).

Antriebswende oder Verkehrswende?

Die Umstellung aller Pkw auf E-Antrieb (**Antriebswende**) kann zwar das Problem des CO₂-Ausstoßes lösen. Gegen Staus, die Zerschneidung der Landschaft, verstopfte Innenstädte und hohen Ressourcenverbrauch hilft allerdings nur eine echte **Verkehrswende**, der Umstieg auf Fahrrad, Busse, Bahnen und zu Fuß gehen. Die konsequente Förderung von öffentlichem Nah-, Rad- und Fußgängerverkehr ist klimaverträglich und wichtig. Die Flut an Pkw zu stoppen gelingt jedoch nur, wenn Maßnahmen dazukommen, die die Nutzung von Pkw weniger attraktiv machen, wie: Rückbau von Straßen und Parkplätzen, Einfahrverbote in Innenstädte, autofreie Wohnquartiere, Temporeduzierungen, höhere Steuern auf Pkw, höhere Parkgebühren, Citymaut und Nahverkehrsabgaben.

Intelligente Stadtplanung kann dazu beitragen, dass motorisierter Verkehr gar nicht erst entsteht, indem sie Wohnungen, Arbeitsplätze und Dienstleistungen in räumliche Nähe zueinander bringt (»Stadt der kurzen Wege«). So werden Städte, Dörfer und Landschaften wieder lebenswerter.

Fazit:

Steigen Sie um auf Busse, Bahnen, das eigene Rad oder gehen Sie zu Fuß. Radfahren und zu Fuß gehen halten fit und gesund, entspannen, machen Städte lebenswerter und haben praktisch null CO₂-Emissionen. Moderne Städte fördern konsequent öffentlichen Nah-, Rad- und Fußgängerverkehr und bauen Verkehrsflächen für Pkw zurück.



„Weil die Klimakrise nicht mehr zu übersehen ist, weil es internationale Abkommen, politischen Druck und eine immer besorgtere Bevölkerung gibt, wird gelogen, dass sich die Balken biegen. Es ist schlimm genug, wenn Lobbyisten und bezahlte Propagandasöldner das tun. Weit schlimmer ist es, wenn die Lüge zum Standardrepertoire von Politikerinnen und Politikern gehört. Demokratischer Diskurs funktioniert nicht ohne Fakten.“

Christian Stöcker: Wissenschaftsjournalist, Autor, Professor, 2024



Der Einfluss der fossilen Energielobbyisten

Das Leugnen und Verschleiern von Fakten und weitere Machenschaften im Interesse fossiler Konzerne haben die öffentliche Wahrnehmung von Klimawandel und Klimaschutz und das politische Handeln massiv beeinflusst. Fossile-Industrie-Lobbyisten haben dabei einst von der Tabaklobby erprobte Taktiken übernommen. Der Wissenschaftsjournalist Christian Stöcker: »Es ist längst klar belegt, wie insbesondere die Öl- und Gasbranche, aber auch deutsche Kohlekonzerne [...] den öffentlichen Diskurs massiv manipulierten, um ihre Geschäfte weiter ungestört betreiben zu können. Sie lügen, betrügen, verschleiern – seit Jahrzehnten. Die Welt weiß längst, dass CO₂-Emissionen die Atmosphäre aufheizen, doch insbesondere US-Konzerne finanzierten mit Hunderten von Millionen, wenn nicht Milliarden Dollar über viele Jahre eine oft sehr aggressive Kampagne, um diese Tatsache zu verschleiern (Abb. 1 – 2: Karikaturen). Sie ließen [...] Wissenschaftler attackieren, drängten Politiker aus dem Amt, [...] verheimlichten Daten (Abb. 3), simulierten breite Unterstützung, kauften Studien und vermeintlich unabhängige Fürsprecher«. Begünstigt wird der Einfluss der fossilen Industrie auf die Politik durch intensive **personelle Verflechtungen**: Manager aus der fossilen Industrie werden Minister, ehemalige Politiker bis zum Bundeskanzler finden lukrative Jobs als Lobbyisten. Beides verschafft den fossilen Industrien einen direkten Zugang zur Politik – auf Kosten von Klimaschutz und klimafreundlichen Innovationen.



Abb. 1 + 2: Der Karikaturist Gerhard Mester bringt die lobbygetriebene Ignoranz auf den Punkt.
Gerhard Mester, CC-BY-SA 4.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gerhard_Mester_punkt_Thema_Ignoranz_202208.jpg



Abb. 2:
Gerhard Mester, CC-BY-SA 4.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gerhard_Mester_punkt_Thema_Klimawandel_gibt_nicht_202208.jpg

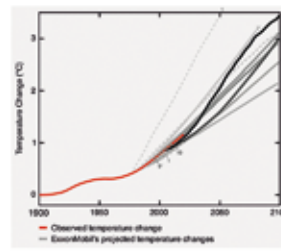


Abb. 3: Experten des Ölkonzerns ExxonMobil haben bereits seit den 70er Jahren die globale Erwärmung als Folge des Verfeuerns fossiler Brennstoffe vorhergesagt, während das Unternehmen nach außen die Risiken der globalen Erwärmung herunterspielte. Zusammenfassung aller globalen Erwärmungsprognosen, die von ExxonMobil-Wissenschaftlern zwischen 1977 und 2003 in internen Dokumenten und Fachpublikationen (graue Linien) veröffentlicht wurden, und beobachtete Temperaturveränderungen (rot). Die Grautöne entsprechen den Anfangsdaten der Modelle, vom frühesten (1977: am hellsten) bis zum spätesten (2003: am dunkelsten). <https://www.pik-potsdam.de/~/media/Fachbereich/ExxonMobil-Konferenz-Klimawandel-2003-ExxonMobil-Report-2003.pdf>

Mit welchen Argumentationsmustern Klimaschutz ausgebremst wird

Fossil-Lobbyisten und die von ihnen beeinflussten Politiker ziehen heute kaum noch klimawissenschaftliche Erkenntnisse, sondern vor allem Klimaschutz-Maßnahmen in Zweifel und verzögern sie – mit diesen Argumentationslinien:

- **Verantwortung weitergeben:** z. B. auf Länder mit höherem CO₂-Ausstoß verweisen. Auch wenn Politiker auf Freiwilligkeit oder Selbstverpflichtungen der Industrie setzen, führt dies oft zu völlig unzureichenden Ergebnissen. Der **persönliche CO₂-Fußabdruck** ist eine Erfindung des Ölkonzerns BP, der damit die Verantwortung auf die Konsumenten abwälzen wollte.
- **Zu schwache Maßnahmen propagieren:** Physikalisch sinnvolle Lösungen (etwa E-Mobilität oder Wärmepumpen) werden infrage gestellt, physikalisch unsinnige (etwa 'E-Fuels' für Autos oder Heizen mit Erdgas mit steigendem Biogas- oder Wasserstoffanteil) beworben, um das fossile Geschäftsmodell am Leben zu halten. Oft verstecken sich hinter wohlklingenden Parolen wie »Technologieoffenheit«, »Ideologiefreiheit« oder »Bürokratieabbau« klimaschädliche Scheinlösungen.
- **Die Nachteile betonen:** z. B. soziale Gerechtigkeit als Vorwand: »Arme können sich keine Wärmepumpen leisten.« Oder: »Klimaschutz schädigt unsere Wirtschaft.« Oder: »Windkraft tötet Vögel.« Es ist wichtig, Klimaschutz sozial gerecht, wirtschaftlich tragfähig und ökologisch nachhaltig zu gestalten. Doch ohne Klimaschutz drohen Gesellschaft, Wirtschaft und Ökologie massive Schäden.
- **Vorschnell kapitulieren:** z. B. »Wir können sowieso nichts mehr tun« oder: »Klimaschutz geht nicht in einer Demokratie und ist gegen unsere Lebensweise.« »Regenerative Energien wie Sonne, Wasser oder Wind können auch langfristig nicht mehr als 4% unseres Strombedarfs decken« sagte Angela Merkel 1994 als Umweltministerin, zuvor war das in Anzeigen der Stromwirtschaft zu lesen. Heute decken regenerative Energien bei uns über 50% des Strombedarfs.

Eine weitere Strategie ist **Ablenkung**. Christian Stöcker: »Man gaukelt dem Publikum vor, seine Freiheit, seine Souveränität, seine Lebensweise, seine Ideale seien von etwas in Wahrheit Harmlosem bedroht, während die wahre, reale, physische Bedrohung konsequent ausgeblendet, ignoriert, verharmlost wird«.

Fazit:

Strategien, mit denen die fossile Industrie ihre Ziele zu erreichen versucht:

- **Desinformation und Leugnung:** Sie verbreitet Zweifel an wissenschaftlichen Erkenntnissen über die Klimakrise und hinterfragt die Notwendigkeit einer Energievende.
- **Lobbyismus und Einflussnahme:** Mit ihren finanziellen Mitteln versucht sie Politiker zu beeinflussen und Gesetze zu verhindern, die ihren Interessen schaden könnten.
- **Greenwashing und Scheinlösungen:** Sie präsentiert sich als Teil der Lösung und wirbt für scheinbar umweltfreundliche Technologien, die aber tatsächlich den Ausstieg aus fossilen Energien verzögern oder verhindern.
- **Kulturkampf und Polarisierung:** Sie schürt gesellschaftliche Konflikte, um von den eigentlichen Problemen abzulenken.



Der Übergang zu sauberer Energie passiert weltweit, und er ist unaufhaltsam. Es ist keine Frage von ‚wann‘, sondern nur von ‚wie bald‘ – und je früher, desto besser für uns alle.

Fatih Birol, Exekutivdirektor der Internationalen Energieagentur, 2023

Betrachten Sie die beiden ausgestellten Würfel.

Sie zeigen die Größenverhältnisse zwischen der Energiemenge, die die Sonne an die Erde liefert und dem, was die Menschheit derzeit an Energie benötigt. Die Sonne liefert über 8000mal mehr Energie, als die Menschheit im selben Zeitraum benötigt. Und diese Energie zu nutzen, wird immer günstiger!

- Eine Energieversorgung mit 100% erneuerbaren Energien rechnet sich

Die Sonne liefert uns in einer Stunde annähernd so viel Energie, wie die Menschheit in einem ganzen Jahr braucht. Sollte es da nicht möglich sein, unseren Energiebedarf weltweit zu 100% aus erneuerbaren Energien, vor allem aus Sonne und Wind zu decken? Physikalisch spricht alles für eine solche Energiewende, und längst zeigt sich, dass sie nicht nur klimapolitisch geboten, sondern sogar wirtschaftlich vorteilhaft ist. Eine Studie aus Oxford aus dem Jahr 2022: »Im Vergleich zu einer Fortführung eines Systems, das auf fossilen Brennstoffen basiert, wird ein schneller Übergang zu grüner Energie wahrscheinlich Gesamt-Nettoeinsparungen im Umfang vieler Billionen Dollar zum Ergebnis haben – selbst wenn man Klimaschäden und positive Nebeneffekte von Klimapolitik nicht einrechnet.[...] Der Glaube, dass ein Übergang zu grüner Energie teuer sein würde, war vierzig Jahre lang ein Hauptgrund für die ineffektive Reaktion auf den Klimawandel.«



Abb. 1: Schüler installierten 2004 am Ferdinand-Porsche-Gymnasium in Stuttgart eine Photovoltaikanlage

■ Erneuerbare Energien – weltweit auf dem Vormarsch

2025 wurde weltweit erstmals mehr Strom aus grüner Energie erzeugt als aus Kohle, weil es immer mehr Kraftwerke auf der Basis von erneuerbaren Energien gibt. Im Zeitraum von 2004 bis 2024 haben Monteure weltweit jedes Jahr im Mittel 40% mehr Photovoltaik-Leistung neu installiert als im Vorjahr. Die weltweit neu installierte Photovoltaikleistung war 840mal höher als 20 Jahre zuvor. Kein Experte hatte solch ein schnelles Wachstum für möglich gehalten (Abb. 1 – 2).

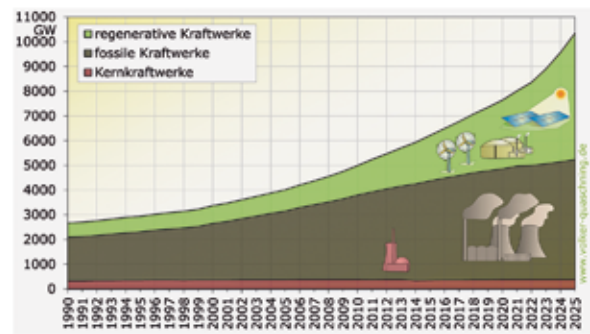


Abb. 2: Weltweit installierte Kraftwerksleistung zur Stromerzeugung seit 1990 in Gigawatt = 1000 Megawatt. Die erneuerbaren Energien sind stark angewachsen, doch auch bei Kohle, Erdöl und Ergas erkennt man immer noch einen leichten Zuwachs, weshalb der jährliche globale CO₂-Ausstoß immer noch ansteigt.
<https://www.vdeh-energie-queerung.de/fakten-ueber-leistung/index.php>

- **Sonnen- und Windstrom werden immer günstiger**

Die Preise für Photovoltaik sind in den letzten Jahren weltweit in atemberaubendem Tempo gesunken, weil die Solarfabriken immer effizienter produzieren und die Stromausbeute der Solarzellen immer höher wird (Abb. 3). Photovoltaik war mit 4,3 US-Cent pro kWh die zweitgünstigste Quelle für neuen Strom, günstiger war nur Windenergie an Land mit 3,4 US-Cent pro kWh. Über 90% der im Jahr 2024 in Betrieb genommenen neuen Projekte im Bereich erneuerbare Energien waren kostengünstiger als alle neuen Alternativen auf Basis fossiler Brennstoffe.

Erneuerbare Energien bieten zudem den Vorteil, dass sie die Abhängigkeit von Öl- und Gasimporten verringern und die Energiesicherheit verbessern.

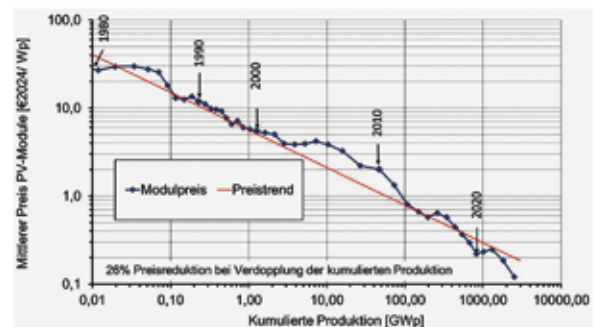


Abb. 3: Historische Entwicklung der Preise für Photovoltaikmodule (inflationsbereinigte Weltmarktpreise).
Lesendeipote: Im Jahr 2000 kostete ein Photovoltaikmodul pro Watt Leistung noch über fünf Euro, 2020 nur noch ca.
0,20 Euro. Die Gerade zeigt den Trend der Preisentwicklung für PV-Module. Diese folgt einer „Erfahrungs-Preisreue“:
Verdoppelt sich die kumulierte Produktion, sinken die Preise um etwa ein Viertel.

- **Energiewende**

Die Energiewende hin zu klimafreundlichen erneuerbaren Energien erfordert eine Verknüpfung von Elektrizitätsversorgung, Wärme und Verkehr (Sektorkopplung): Gebäude können mit Photovoltaikanlagen Energie erzeugen und mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen oder über von diesen gespeiste Nahwärmenetze beheizt werden, Busse und Pkw elektrisch angetrieben werden (Kap. 28 und 32). Ein Aufbau von Kurz- und Langzeitspeichern z. B. in Form von Batterien und gespeichertem Wasserstoff oder daraus hergestellten Produkten kann das tages- und jahreszeitlich schwankende Angebot an erneuerbaren Energien ausgleichen.

Die Energiewende wurde in Deutschland politisch immer wieder ausgebremst, was nach 2012 zu einem starken Einbruch bei der Neuinstallation von Photovoltaik- und nach 2017 von Windkraftanlagen führte. Zahlreiche Arbeitsplätze im Bereich der Erneuerbaren Energien wurden damals abgebaut, Firmen mussten schließen. 2026 geplante gesetzliche Änderungen könnten dazu führen, dass auf Dächern neu installierte kleine Photovoltaikanlagen unwirtschaftlich werden.

Fazit:

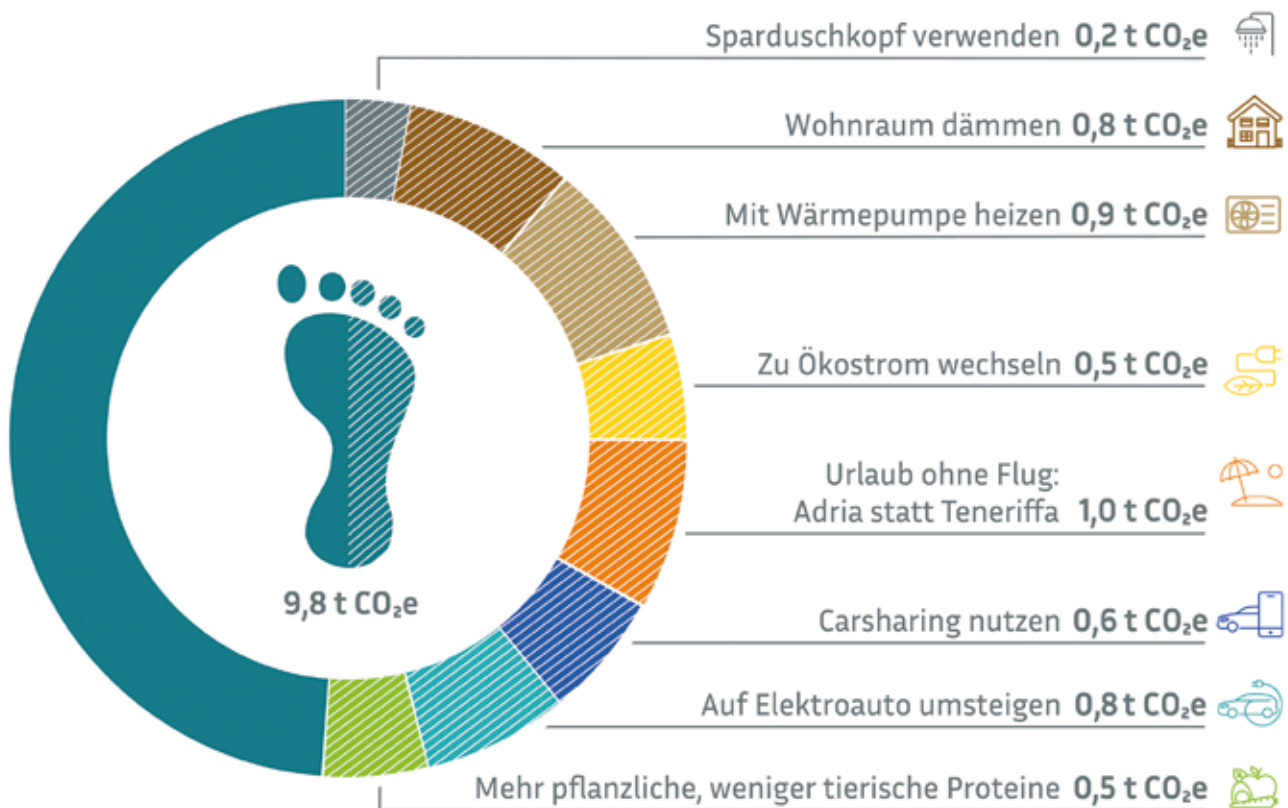
Klimaneutrale erneuerbare Energien sind die Energieform der Zukunft. Ihr Ausbau hat weltweit ein beachtliches Tempo erreicht. Inzwischen rechnen sie sich oft selbst dann, wenn man die Folgeschäden der fossil-atomaren Energiewirtschaft nicht mit einbezieht. Für den Klimaschutz könnte das den endgültigen Durchbruch bedeuten! Eine weitere **Beschleunigung beim Ausbau Erneuerbarer Energien ist unabdingbar**, soll die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad begrenzt werden, hierfür ist **politische Unterstützung** (u. a. Subventionsabbau bei fossilen Energien) erforderlich.



Den Fußabdruck verkleinern...

den Handabdruck vergrößern

Mit Big Points den Fußabdruck halbieren



CO₂e: Die Effekte von unterschiedlichen Treibhausgasen (z.B. Methan) werden zu CO₂-Äquivalenten umgerechnet und in die Berechnung einbezogen.

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich

Quelle: Umweltbundesamt CO₂-Rechner (Stand 3.2026)
© Kompetenzzentrum Nachhaltiger Konsum

„Den eigenen **Fußabdruck** zu **verkleinern** ist gut, doch auch mit **Big Points** ist das Einsparpotenzial begrenzt. Denn wie groß der eigene Fußabdruck ist, hängt unter anderem von den gesellschaftlichen Strukturen ab, die den Rahmen für unsere Handlungen bieten. **Sich für die Veränderung solcher Strukturen einzusetzen** und auch andere Menschen zu klimafreundlichem Verhalten zu bewegen, bedeutet den eigenen **Handabdruck** zu **vergrößern**.

Kompetenzzentrum nachhaltiger Konsum im Umweltbundesamt





Schlussbetrachtung



*Wir woll'n es nicht verschweigen
In dieser Schweigenszeit
Das Grün bricht aus den Zweigen
Wir woll'n das allen zeigen
Dann wissen sie Bescheid.*

Bettina Wegener, Liedermacherin



■ Die Zukunft ist offen.

Für naiven Optimismus besteht indes wenig Anlass, dieser beruht häufig nur auf einem Mangel an Wissen. Die Menschheit hat sich in eine schwierige, manche meinen, schier aussichtslose Lage hineinmanövriert. Profitgier, Lobbyismus, politische Ignoranz, Versagen der Medien sowie gesellschaftliche und häufig auch individuelle Trägheit lassen den globalen Ausstoß an Treibhausgasen Mitte der 20er Jahre weiter ansteigen oder bestenfalls auf anhaltend hohen Niveau verharren. Die atmosphärische CO₂-Konzentration und die globale Temperatur steigen im Rekordtempo an.

Die bislang umgesetzten politischen Maßnahmen lassen laut IPCC eine Erwärmung von etwas mehr als 3°C gegenüber vorindustrieller Zeit erwarten. Bisher haben wir nicht einmal die Hälfte dieser Erwärmung erreicht und beobachten global schon erhebliche Änderungen. Mehrere Kippunkte könnten in absehbarer Zeit unumkehrbar überschritten werden. Die Klimawissenschaft stuft viele klimabedingte Risiken heute höher ein als noch vor Jahren. Zu viele verdrängen das alles noch immer. Hingegen folgt die Ausstellung, die Sie besucht haben, der Prämisse »Die Wahrheit ist dem Menschen zumutbar« (Ingeborg Bachmann).

■ Gibt es Lichtblicke?

Das Bewusstsein bei den Themen Klimawandel und Klimaschutz nimmt zu. Der gesellschaftliche Druck für Klimagerechtigkeit und Klimaschutz hatte Anfang der 20er Jahre auch durch die Protestbewegung Fridays for Future ein zuvor kaum vorstellbares Ausmaß erreicht. Umweltschutzorganisationen klagen vor Gerichten den Schutz des Klimas ein. Die Politik hat sich mitunter sehr anspruchsvolle Klimaschutzziele gesetzt und bemüht sich (mehr oder weniger entschlossen), diese umzusetzen. In vielen Ländern beginnen CO₂-Steuern und Emissionshandel zu wirken. Immer mehr Städte und Gemeinden arbeiten an ihrer klimafreundlichen Umgestaltung. Die Preise für Photovoltaikanlagen, Windräder und Speichertechnologien fallen weit schneller, als Wissenschaftler sich das vor zwei Jahrzehnten hätten vorstellen können, immer mehr Energie wird klimafreundlich mithilfe von Sonne und Wind gewonnen.

Allerdings hat Mitte der 20er Jahre auch der Gegenwind beim Klimaschutz zugenommen, weltweit und auch in Deutschland. Mächtige Gegner aus Wirtschaft und Politik wollen aus Profitgier und Ignoranz den Klimaschutz ausbremsen, koste es, was es wolle. Sind das nur Rückzugsgefechte von auf Dauer nicht mehr wettbewerbsfähigen fossilen Industriebranchen?

Es gilt beim Klimawandel, der Wahrheit ins Auge zu schauen. Empathisch zu sein. Und dann zu handeln. »Wer seine Lage erkannt hat, wie sollte der aufzuhalten sein?« (Berthold Brecht).

*Wir brauchen Menschen, die aufstehen
und sich in Bewegung setzen.
Menschen, die ihren ökologischen Fußabdruck verringern
und ihren ökologischen Handabdruck vergrößern, indem
sie gesellschaftlich und politisch für eine gute Zukunft
eintreten.*

*Wir brauchen Menschen, die forschen und tüfteln,
kommunizieren und kritisch konsumieren.
Menschen, die für Klimagerechtigkeit brennen.
Eine bessere Welt ist immer noch möglich!
Nehmen wir unser Schicksal in die Hand!
Sind Sie bereit?*

