

Der Klimawandel



Eine existentielle Bedrohung der Menschheit

Vorbemerkung

Das vorliegende Dokument stellt den aktuellen Stand der Klimaforschung dar. Es ist untergliedert in die Bereiche *Ursachen, Folgen* und *Maßnahmen*.

Dies ist keine vollständige Ausarbeitung der größten Bedrohung der Menschheit, sondern mehr als eine Art Kompendium gedacht, um kurz und trotzdem umfänglich die wichtigsten Aspekte des Klimawandels darzustellen.

Die wesentlichen Berichte, Studien und sonstigen Publikationen, die verwandt wurden, sind auf den nächsten Seiten aufgeführt. Insgesamt wurden mehr als 80 Dokumente genutzt und zusammengefasst.

Einen nochmaligen Überblick gibt die Studie der Leopoldina (Nationale Akademie der Wissenschaft), *Klimawandel, Ursachen Folgen und Handlungsmöglichkeiten, Fact Sheet 2021*, die auch als Basis und für die Struktur dieser Ausarbeitung genutzt wurde.

Wer noch tiefer in das Thema einsteigen möchte, dem sei das Buch von Hans-Joachim Schellnhuber mit dem Titel *Selbstverbrennung*, C. Bertelsmann Verlag, 3. Auflage 2015 empfohlen.
(Warnung: Das Buch umfasst über 750 Seiten)

Das Dokument wurde von Dr. Helmut Maisel (ein Mitglied der Initiative Zukunft) erstellt, um die bestehenden Informationsdefizite in Kühlungsborn zu verringern und eine sachliche Diskussion zu ermöglichen.

Quellen

Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung verschiedener Klimastudien und soll einen Überblick über die aktuelle Situation des Klimawandels sowie seiner Folgen und möglichen Maßnahmen geben. Es wurden nachfolgende wesentliche Quellen verwendet.*

Titel	Herausgeber	Erscheinungsjahr
Klimawandel, Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten	Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale)	2021
Klima-Realitätscheck 2020 (Zusammenfassung der aktuellen Klimaforschung aus der ganzen Welt)	Breakthrough – National Centre for Climate Restoration Australien (deutsche Übersetzung)	Dezember 2020
What lies beneath, was sich darunter verbirgt	Breakthrough–National Centre for Climate Restoration (deutsche Übersetzung)	Erste Veröffentlichung 2017, aktualisiert 2018
Selbstverbrennung – Die fatale Dreiecks- beziehung zwischen Klima, Mensch und Kohlenstoff	Hans-Joachim Schellnhuber, C. Bertelsmann Verlag	3. Auflage 2015
Ergebnisse des Weltklimarates	Deutsches Klimakonsortium, Autorin Lena Puttfarcken	
6. Sonderbericht 2021	IPCC (Weltklimarat der UNO)	2021
Die Geschichte des Erdklimas (Ökosystem Erde)	Paeger, Jürgen 2006 – 2019 https://www.oekosystem-erde.de/html/klimageschichte.html	2019
The Closing Window, Climate crisis calls for rapid transformation of societies; Emissions Gap Report	UN Environment Programme	2022
Risiko des Überschreitens mehrerer Klima-Kipppunkte steigt bei einer globalen Erwärmung von mehr als 1,5°C	Aktuelle Nachrichten, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung,	September 2022
So funktioniert Klimamodellierung	Lena Puttfarcken, Deutsches Klimakonsortium	-
Existential climate-related security risk a scenario approach	David Spratt, Ian Dunlop, Breakthrough – National Centre for Climate Restoration Australien	2019

- **Da es sich bei diesem Dokument um keine "wissenschaftliche" Abhandlung handelt, wurde auf die Quellenbezeichnung einzelner übernommener Textpassagen im Wesentlichen verzichtet. Bei sonstigen Quellenangaben wurde immer – wenn möglich - die primäre Quelle abgegeben. Sekundärquellen wurden nur genannt, wenn die entsprechende Primärquelle nicht zu erkennen war]**

Quellen

Weitere benutzte Quellen

Titel	Herausgeber	Erscheinungsjahr
IPCC Sachstandsbericht – Naturwissenschaftliche Grundlagen	IPCC (Weltklimarat)	2021
IPCC Sachstandsbericht - Arbeitsgruppe 2 – Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit	IPCC (Weltklimarat)	28. Februar 2022
Wir brauchen eine Blut-Schweiß-und-Tränen-Rede	Energiewende-Magazin – EWS (Elektrizitätswerke Schönau)	2022
The third degree: Evidence and implications for Australia of existential climate-related security risk	Breakthrough, David Spratt & Jan Dunlop	Juli 2019
Klima-Prognose 2050: Hohe Wahrscheinlichkeit, dass die menschliche Zivilisation endet	Flatley, Annika, Utopia.de	7. Juni 2019
Eiszeiten, Ausbildungsseminar Wetter und Klima	Universität Regensburg, Naturwissenschaftliche Fakultät II Physik	5. Januar 2010
Risiko des Überschreitens mehrerer Kipppunkte steigt bei einer globalen Erwärmung von mehr als 1,5°C,	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Nachrichten	September 2022

Manche Studien liegen zum Teil schon ein bis mehrere Jahre zurück, haben allerdings nichts von ihrer Aktualität eingebüßt. Im Gegenteil, es ist schlimmer geworden.

Die Ursachen

1

Der Treibhauseffekt

Die Energiebilanz bestimmt die Temperatur

Sonneneinstrahlung

1/3 wird reflektiert

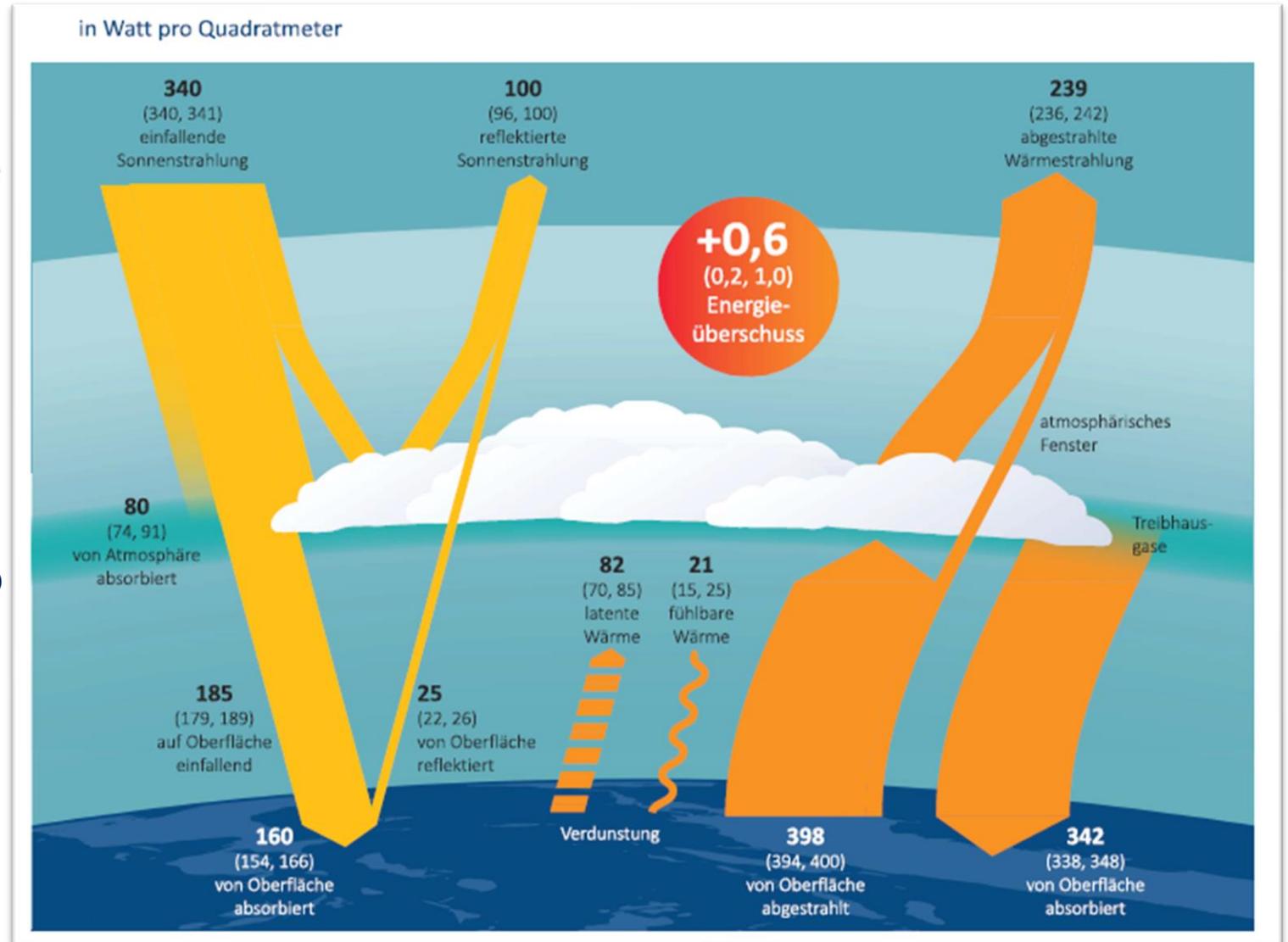
2/3 werden aufgenommen

Sie Erde strahlt Wärmestrahlung ab
(= Ausgleich der Einstrahlung)

Wasserdampf + Kohlendioxid
+ Methan behindern Abstrahlung
(strahlen einen Teil zurück)

Überschuss des Energiezuflusses

= 0,6 Watt/m²/Sekunde



Die Ursachen

2

Atmosphärische Konzentration Von CO₂

Verschiedene Ursachen

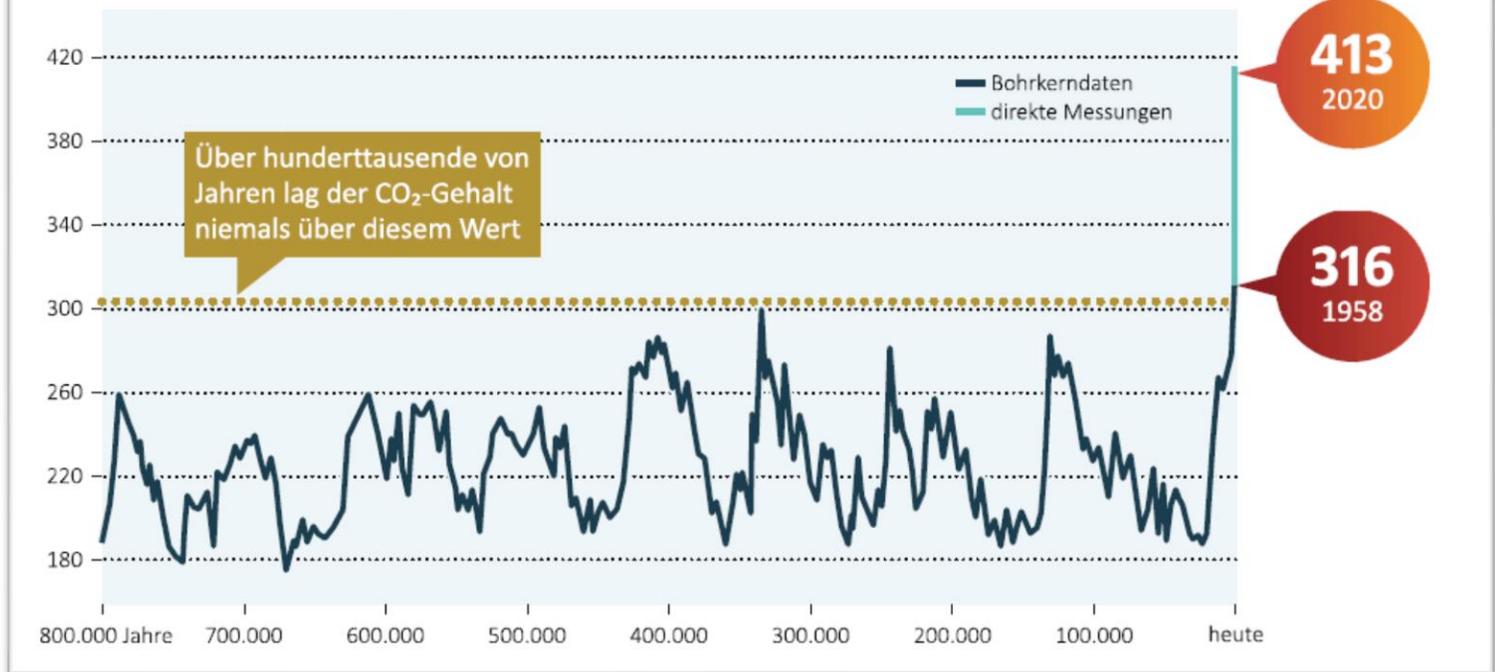
- Änderungen der Leuchtkraft der Sonne
- Änderungen der Erdumlaufbahn um die Sonne
- Änderungen an klimarelevanten Gasen (CO₂, Methan) und Aerosolen
- Eisbedeckung, Bewölkung und Verteilung der Kontinente

Hauptinformationsquellen

- Ablagerungen aus den betreffenden Zeiten
- Isotopenanalysen von Kalkschalen von Mikroplankton

CO₂-Gehalt der Atmosphäre in den letzten 800.000 Jahren

in ppm („parts per million“ = Millionstel)



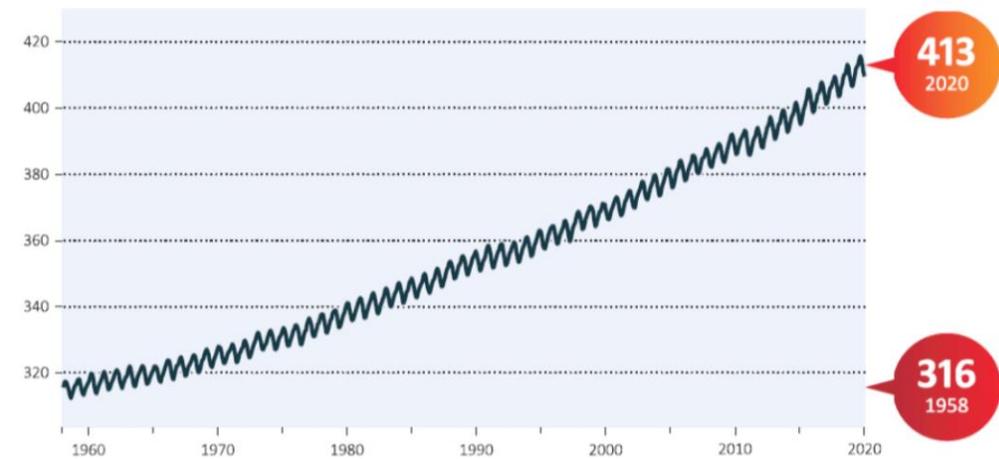
Quelle: Lüthi et al High-resolution carbon dioxide concentration record 650.000 – 800.000 years before present; Nature 453: 379 - 382

Die Ursachen

3 Die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre ist kontinuierlich angestiegen

Während des Sommers auf der Nordhalbkugel nimmt die CO₂-Konzentration ab, da die Vegetation in dieser Zeit vermehrt Kohlenstoff aufnimmt.

CO₂-Gehalt der Atmosphäre seit 1958
in ppm („parts per million“ = Millionstel)



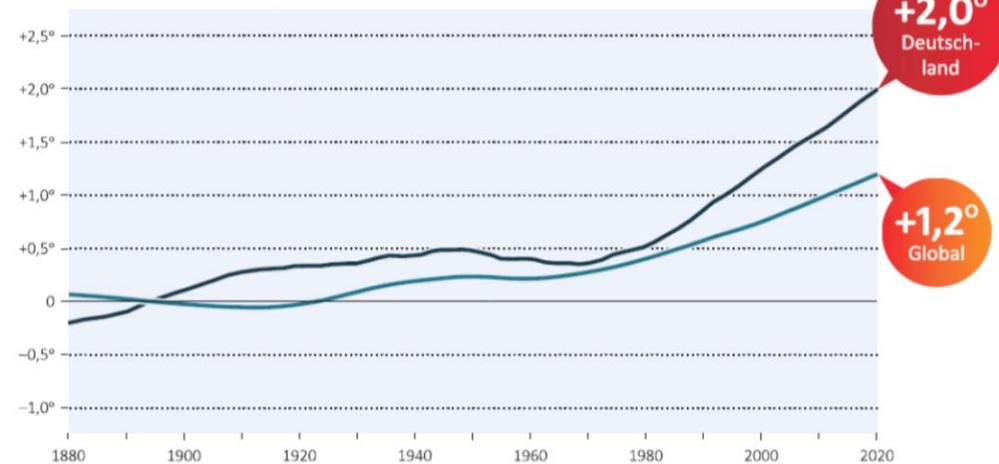
Quelle: NOAA (Global Monitoring Laboratory), <https://www.esrl.noaa.gov/gmd>; 2020

4 Die Globale Temperatur ist bereits um 1,2° C angestiegen

Über Land steigt die Temperatur in Folge des Klimawandels schneller als über dem Ozean. So auch in Deutschland.

Der Weltklimarat prognostizierte im Mai 2022, dass die 1,5-Grad-Marke voraussichtlich schon 2026 überschritten wird.

Globale Temperatur und Temperatur in Deutschland seit 1880
Temperaturabweichung in Grad Celsius vom Mittelwert der ersten 30 Jahre



Quelle: DWD- o.J. Deutscher Wetterdienst. https://www.dwd.de/DE/Home/home_node.html

Die Ursachen

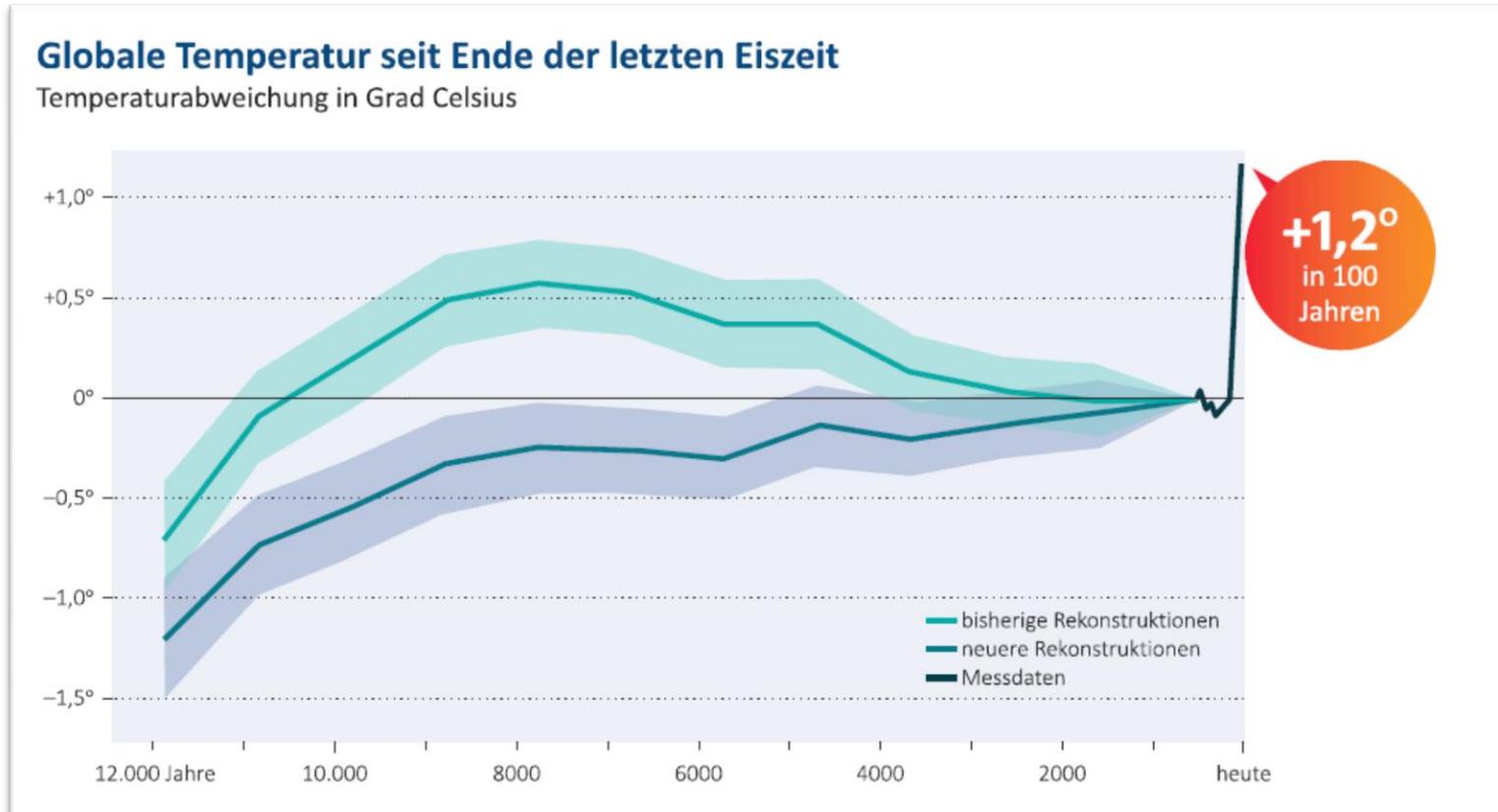
5 Extrem schnelle Klimaerwärmung (durch den Menschen verursacht)

Inzwischen gibt es genug Daten aus allen Weltteilen, um die globale Mitteltemperatur über die letzten 20.000 Jahre berechnen zu können.

Diese Daten sind auch mit den Modellberechnungen früherer Temperaturen konsistent.

Aus der Erdgeschichte kennen wir auch starke und abrupte regionale Temperaturänderungen. (Beispiel: Paläozän [vor etwa 55 Millionen Jahren]; innerhalb von 4.000 Jahren stieg die Temperatur um rund 6°C.

Der aktuell beobachtete Klimawandel läuft noch viel schneller ab).



Quelle:

Bova et al, Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. Nature 589 (2021), 548-553

Die Ursachen

6

Dominante Ursache ist die menschliche Aktivität

Der Ausstoß von CO₂ hat sich seit Beginn der industriellen Revolution fast verzehnfacht

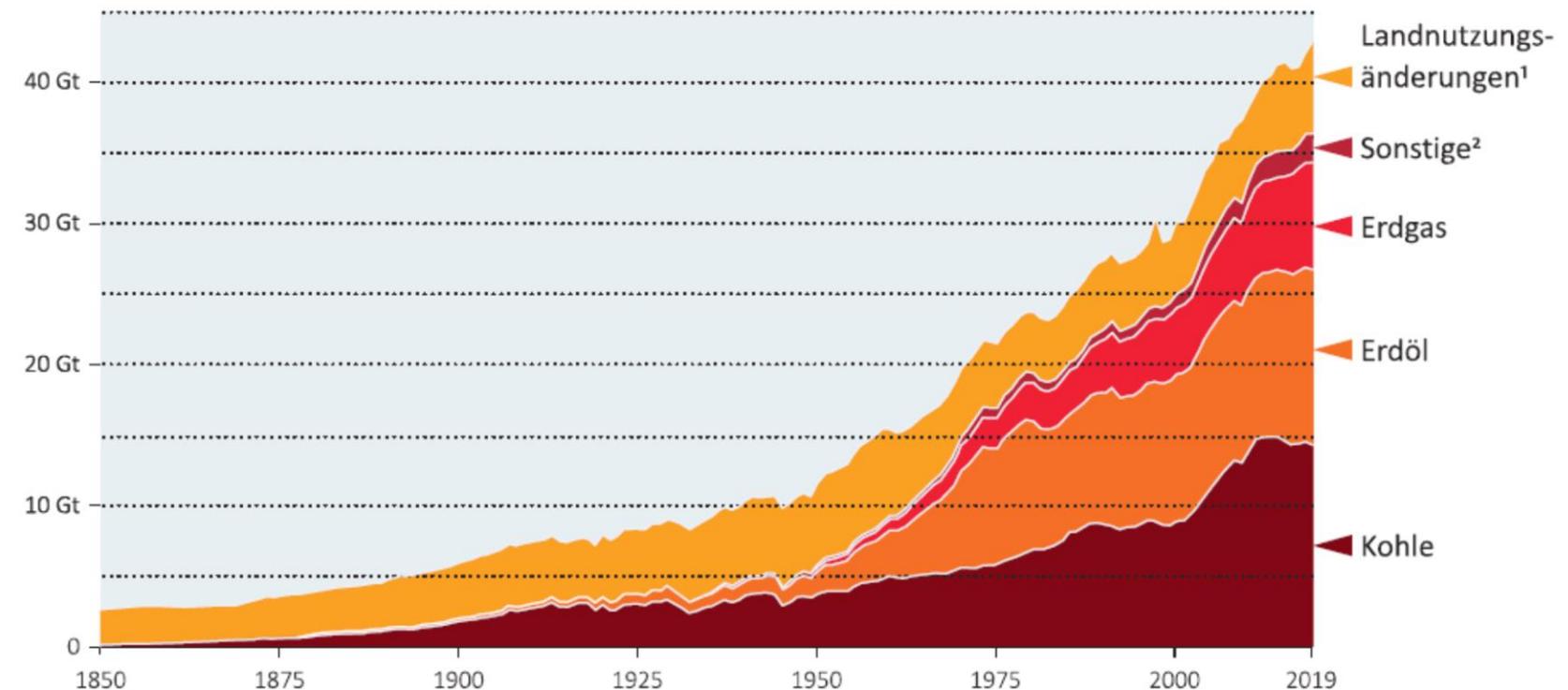
Hauptträger sind Kohle, Erdöl, Erdgas

Hinzu kommen Landnutzungsänderungen wie Entwaldung und Trockenlegung von Feuchtgebieten

Sonstige Verursacher sind die Zementproduktion und das Abfackeln von Erdgas

Gesamte globale CO₂-Emissionen 1850–2019

nach Herkunft, in Milliarden Tonnen CO₂ (Gt)



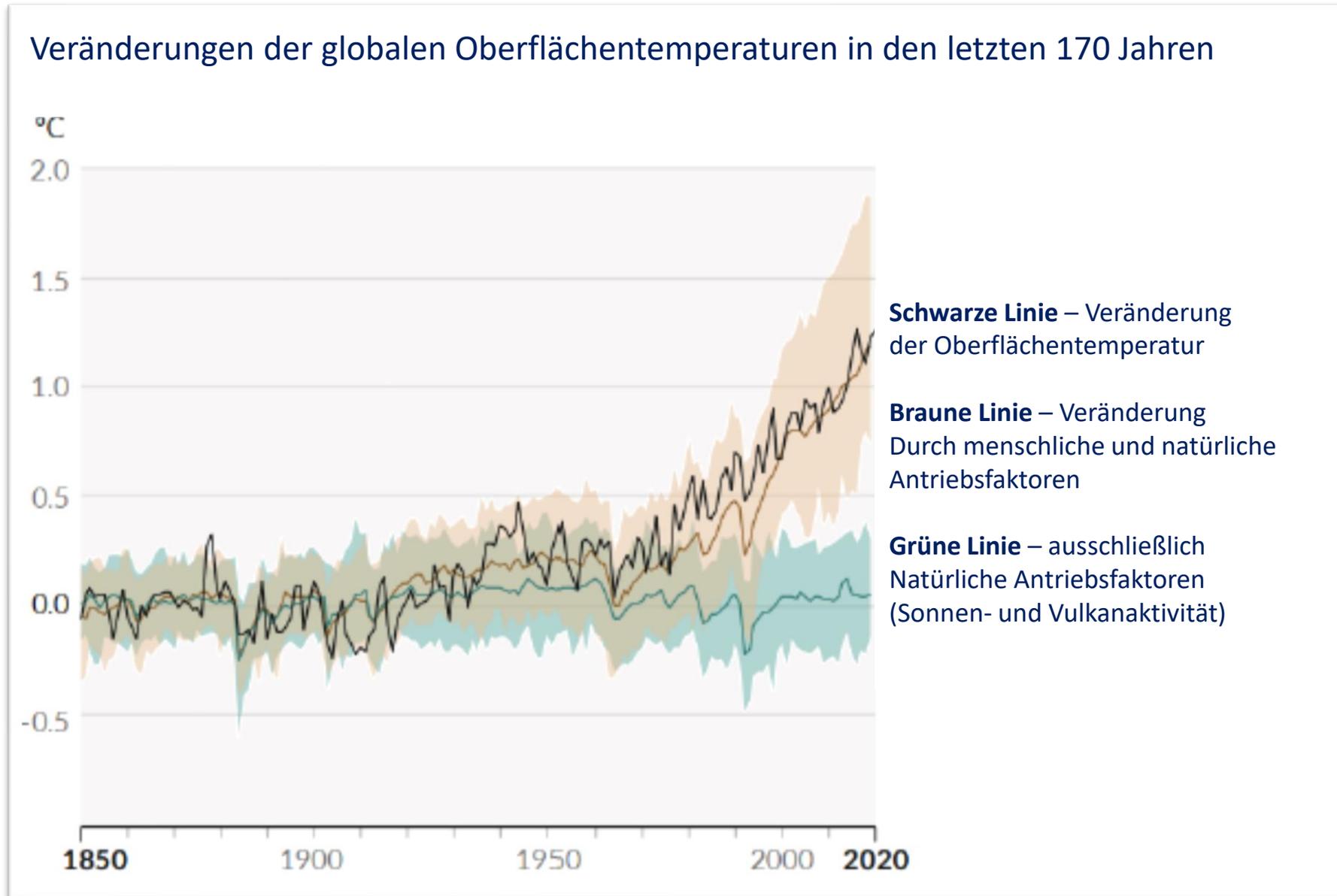
Quelle: Global Carbon Project – Carbon Budget and Trends, 2020. DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020

Die Ursachen

7

Die Klimakrise hat anthropogene Ursachen (menschengemacht)

Eine Herausrechnung der natürlichen Antriebsfaktoren lässt keinen anderen Schluss zu als den, dass die klimatischen Veränderungen ausschließlich Anthropogene (menschliche Faktoren) Ursachen haben.



Die Ursachen

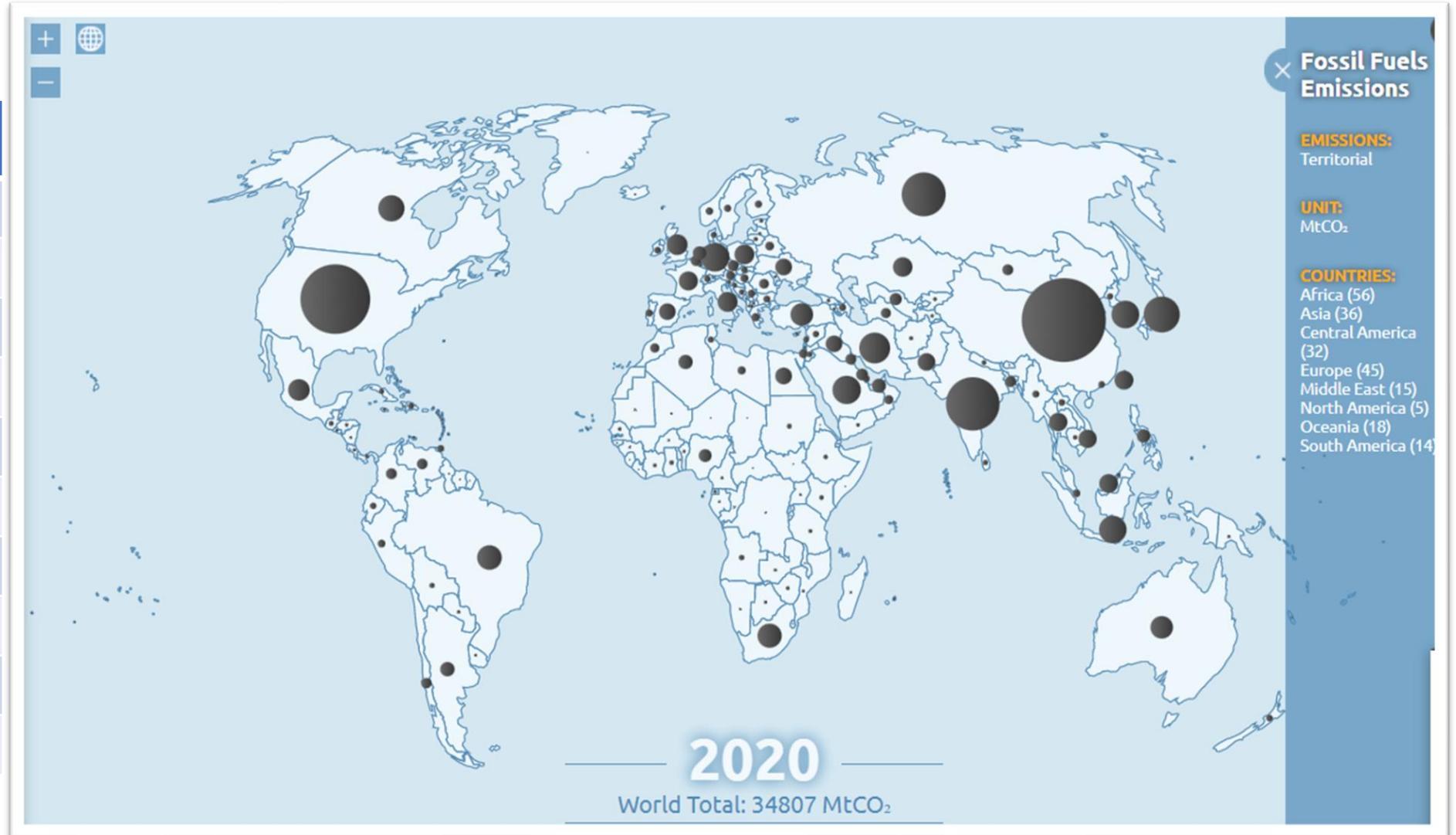
Mt: Als Einheit der Energie bezeichnet sie die Energiemenge, die notwendig ist, um einen Körper mit einer Masse von einer Tonne einen Meter hoch zu heben. Sie ist ebenso veraltet wie etwa das Kilopondmeter und durch das Joule ersetzt worden. 1 mt entspricht 9,81 kJ. **Die Metertonne darf nicht mit der metrischen Tonne verwechselt werden.**

8

Die weltweit größten Emittenten

Die größten Emittenten in MtCO₂ 2020

1	China	10.668
2	USA	4.713
3	Indien	2.442
4	Russland	1.577
5	Japan	1.031
6	Iran	745
7	Deutschland	644
8	Saudi Arabien	626
9	Südkorea	598
10	Indonesien	590



Quelle: Global Carbon Project – Carbon Budget and Trends, 2020

Die Ursachen

9

Welchen Einfluss haben die Eiszeiten?

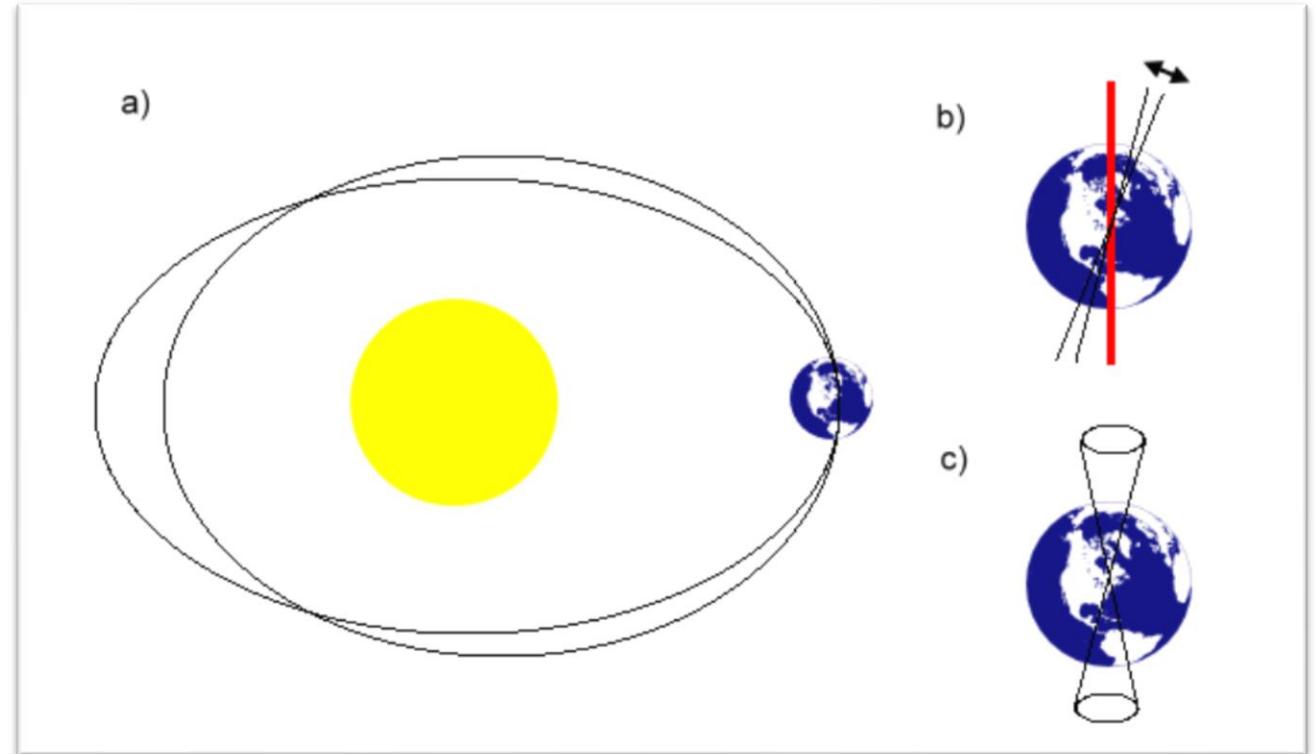
Die Veränderung der Umlaufbahn der Erde um die Sonne (genannt Exzentrizität) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung der Eiszeiten.

Sie wird beeinflusst von der Präzession (Tammelbewegung) der Erde. Ursache für die Achsenpräzession der Erde sind die Kräfte von Sonne und Mond auf den Äquatorwulst des rotierenden Erdballs.

Zusätzlich haben die Gravitationskräfte des Jupiters und des Saturns Einfluss auf die Erdumlaufbahn.

Nur die Schwankung der Exzentrizität ändert die Menge der Einstrahlung im Verlauf des Jahres, die beiden anderen Zyklen ändern die geographische Verteilung der Einstrahlung im Verlauf des Jahres.

"Eine lange Phase von lichtschwachen Sommern in der Nordhemisphäre lässt wegen der dortigen Landmassenstruktur ein ganzes Spalier von Eisschichten wachsen." (Hans Joachim Schellnhuber, Selbstverbrennung, S. 48)



- a) Die Umlaufbahn der Erde ist mal mehr, mal weniger exzentrisch,
- b) Die Neigung der Erdachse schwankt zwischen $21,5^\circ$ und $24,5^\circ$,
- c) Die Erdachse taumelt, daher ist mal die Nordhalbkugel, mal die Südhalbkugel mehr der Sonne zugewendet.

Quelle: Die Geschichte des Erdklimas, Jürgen Paeger 2006 – 2019

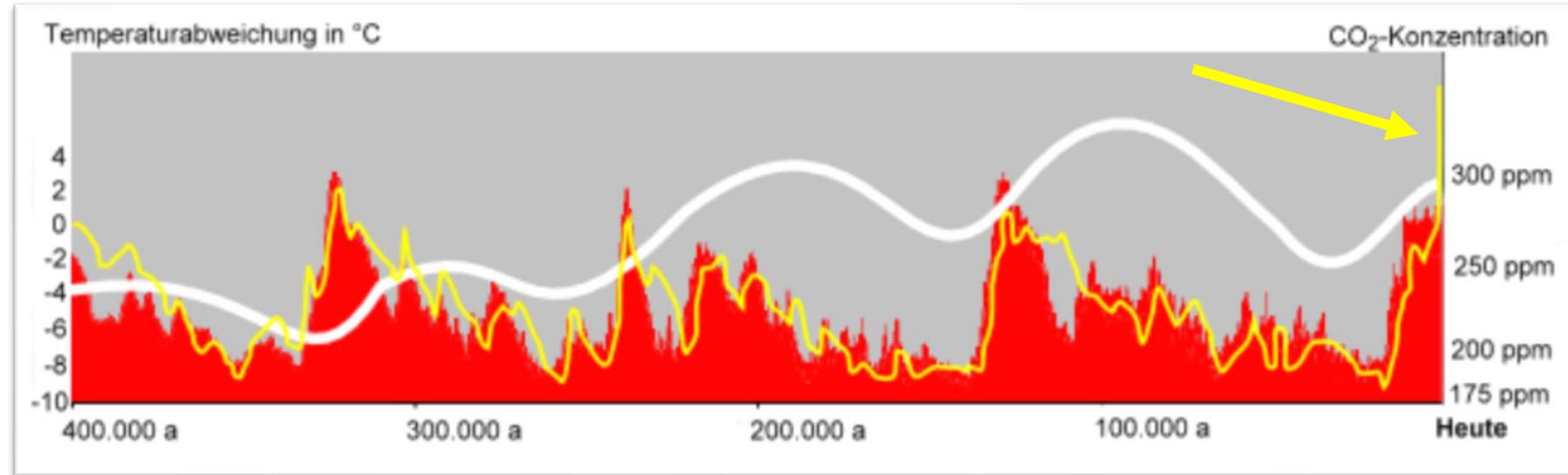
Die Ursachen

10

Welchen Einfluss haben die Eiszeiten?

Die nebenstehende Graphik zeigt deutlich, dass die Erhöhung des Kohlendioxid-Gehalts in den Eiszeiten der letzten 400.000 Jahren nie so stark war, wie seit der industriellen Revolution (ca. 1830 bis heute).

Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Eiszeiten keinen signifikanten Einfluss auf die heutige Klimaveränderung hatten (und haben).



Klimadaten aus dem Wostok-Eisbohrkern:

Temperaturverlauf (rot) und Kohlendioxid-Gehalt (gelb) der Atmosphäre in den letzten 400.000 Jahren
Weiß dargestellt: Veränderungen der Exzentrizität der Erdumlaufbahn.

Quelle der Wostok-Daten: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok.html> ,
zitiert nach Paeger, Jürgen 2006 – 2019 <https://www.oekosystem-erde.de/html/klimageschichte.html>

Die Ursachen

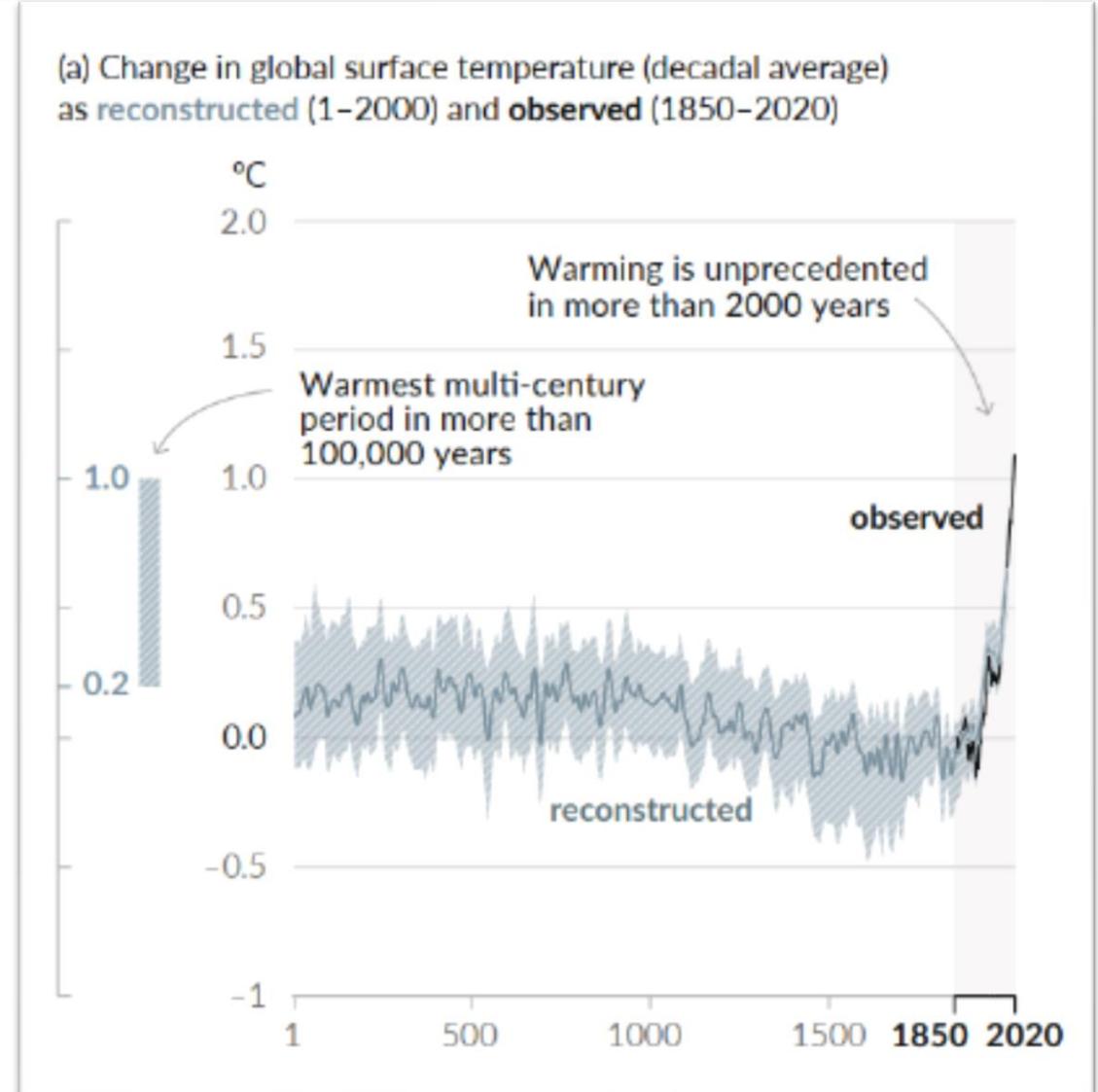
11

Oberflächentemperatur – Änderung seit Christi Geburt

Die Langzeitbetrachtung zeigt nochmals deutlich die Temperaturveränderung in den letzten 170 Jahren.

Interessant ist, dass wir von ca.1000 n Chr. Bis 1850 sinkende Temperaturen verzeichneten.

Um so schlimmer ist die nachfolgende Temperaturerhöhung zu bewerten.



Veränderung der globalen Oberflächentemperatur konstruiert aus Paläoklimatischen Archiven

Quelle: IPCC (Weltklimarat der UNO) 6. Sachstandsbericht2021

Folgen des Klimawandels

Ende der Menschheit ???



Folgen des Klimawandels

1

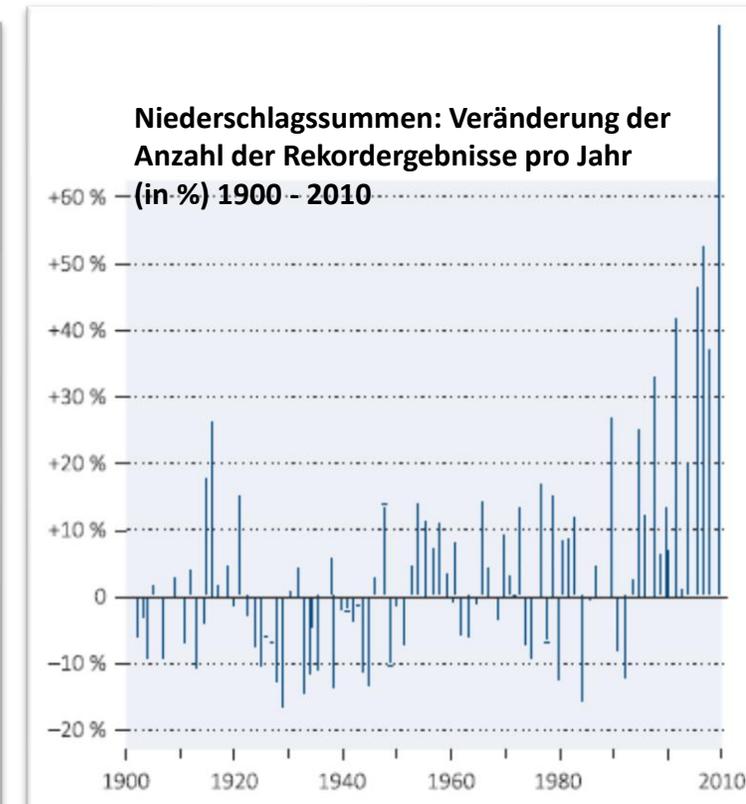
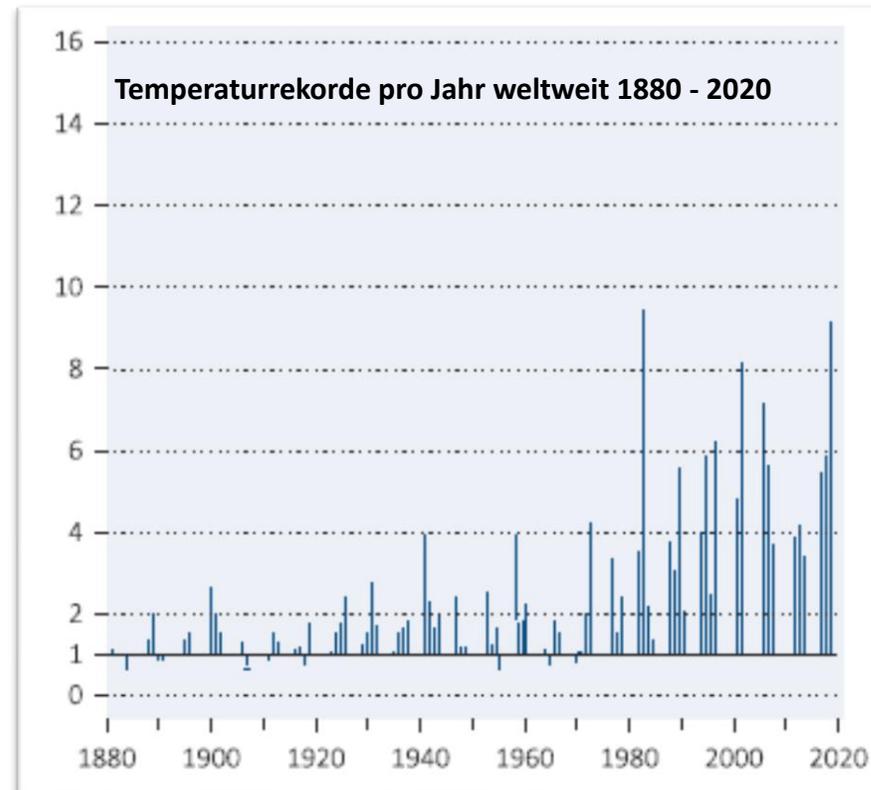
Extreme Wetterereignisse werden häufiger und intensiver

Auswirkungen (Beispiele)

- Verheerende Waldbrände (z. B. Australien)
- Andauernde Dürre in Südafrika
- Hitze am Polarkreis in Sibirien (bis zu 38°)
- Starke Tropenstürme

- **Deutschland**
 - 2019 Rekord an 3 Tagen hintereinander (40° und darüber)
 - Juli 2019:
 - An 23 Messstellen mindestens 40°
 - Juli 2019: heißester Monat seit Beginn der Wetteraufzeichnung
 - Mittelfristige Gefährdung unserer Versorgung mit Ressourcen (Wasser, landwirtschaftliche Produkte)

- Erhöhte Sterblichkeit (Beispiel Europa: Jahrhundertssommer 2003 + 70.000 Sterbefälle)



Quelle: Lehmann, J. et al. 2015, Increased record-breaking Precipitation events under global warming. Climate Change 132, p. 501-515. DOI: 10.1007/s10584-015-1434-y

Folgen des Klimawandels

2

Veränderung des globalen Meeresspiegels 1900 - 2020

Masseverlust durch Abschmelzen von Eis in Grönland und der Antarktis seit 1990 beschleunigt (seit 1993 + 10cm).

Prognose: beim kompletten Abschmelzen der Eisschilde (Grönland und Antarktis) Ansteigen des Meeresspiegels um mehr als 20 Meter möglich.

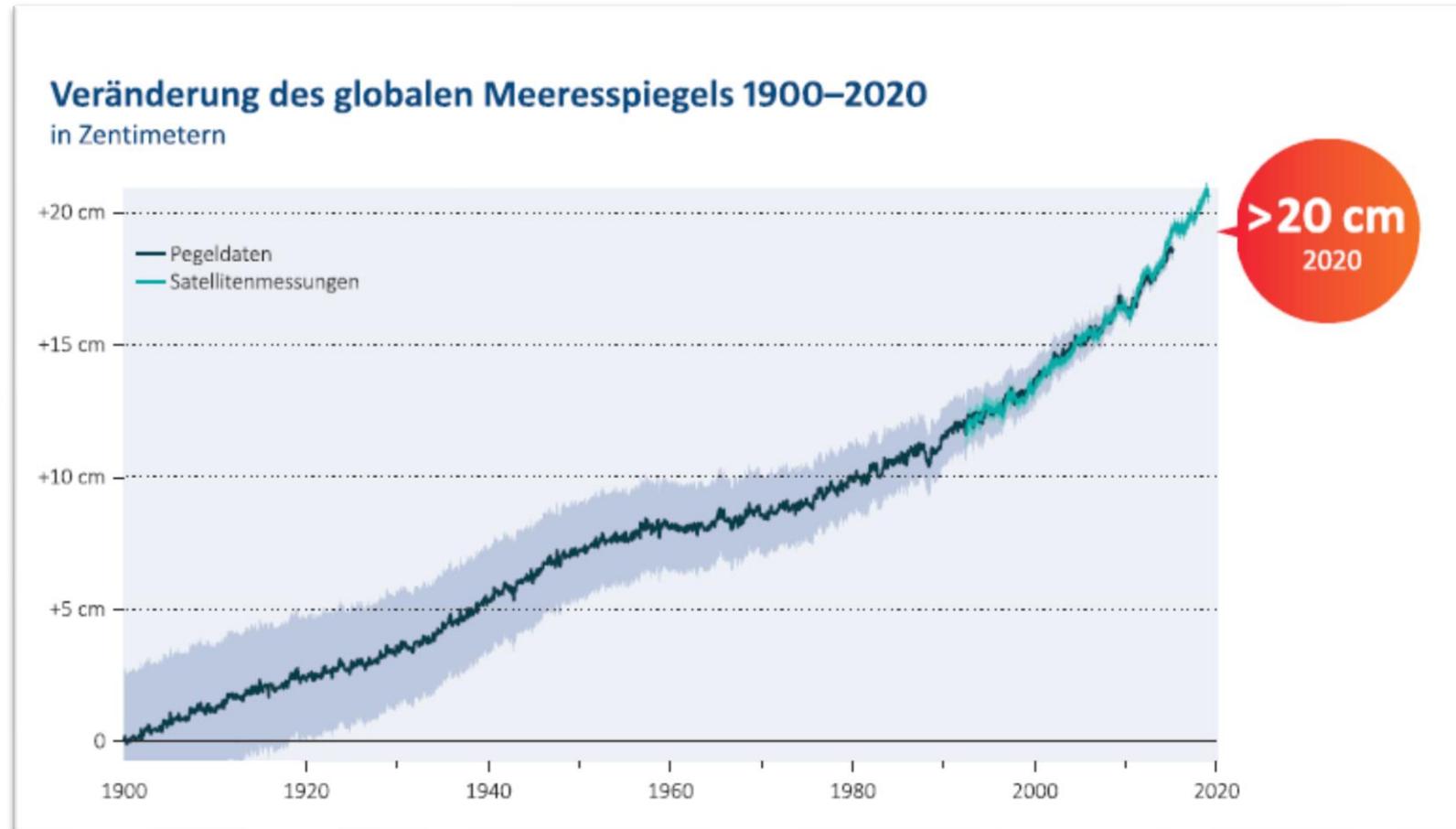
Grönlands Eismassen könnten bei 1,6° Erwärmung komplett abschmelzen.

Die Erwärmung betrifft nicht nur die Atmosphäre, sondern vor allem den Ozean (seit 1970 rund 90 % der Wärme aufgenommen - Ursache ist der Treibhauseffekt).

Warmes Wasser dehnt sich aus und ist für 40% des Anstiegs des Meeresspiegels verantwortlich.

Zunehmende Erwärmung und Versauerung der Ozeane Beeinträchtigt Meeresorganismen und bedroht die Lebensgrundlage vieler Menschen.

Vom Eis geprägte Lebensräume sind am stärksten betroffen



Quelle: Dangendorf, Nature Climate Change 9, p. 705 - 710

Folgen des Klimawandels

3

Trockenheit und Dürre gefährden den Wald

Bereits ein Temperaturanstieg um 1° kann das Funktionieren eines Waldes gefährden.

Der Wald setzt dann gespeichertes CO₂ frei statt CO₂ aufzunehmen

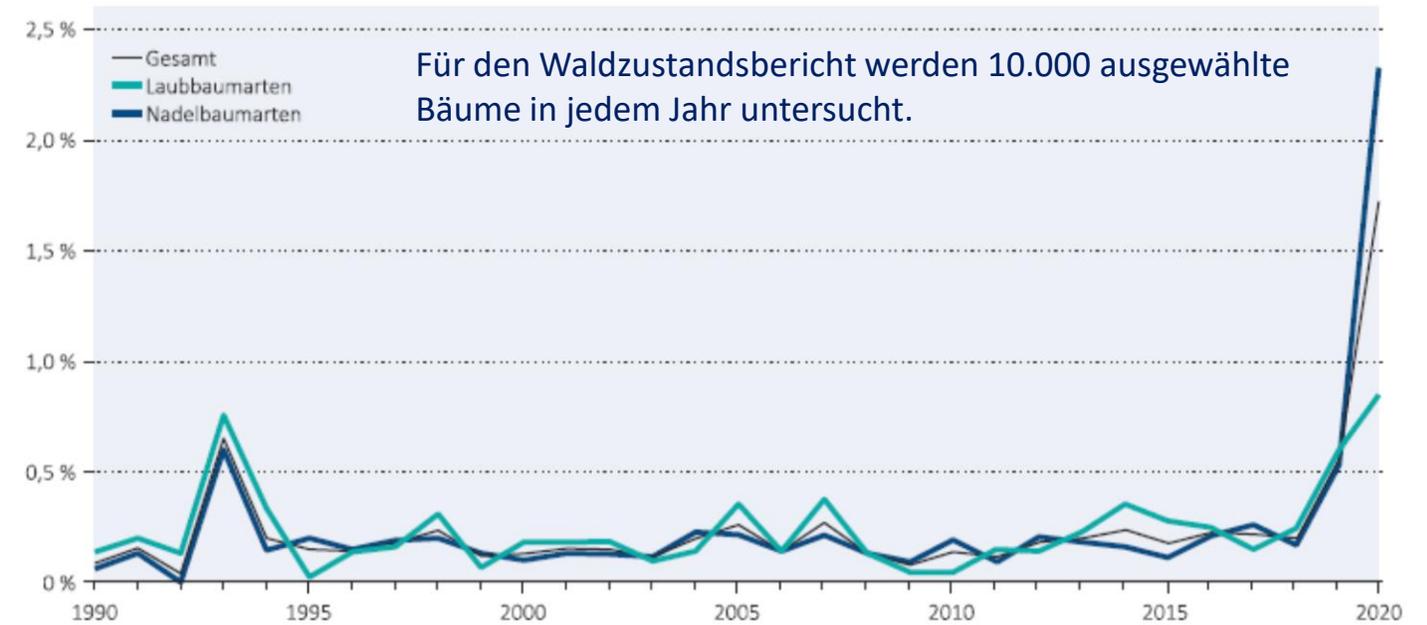
Stürme, Hitze und Trockenheit gefährden den Wald auch in Deutschland.

Die mittlere Kronenverlichtung war 2020 im Durchschnitt aller Baumarten mit 27 % so hoch wie nie.

Ebenso wird in Deutschland die Bedrohung durch Waldbrände zunehmen.

Absterberate von Bäumen

in Prozent, 1990–2019



Quelle: BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2020. Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2019, Berlin.

Folgen des Klimawandels

4

+1,5°C führt zum Verlust der meisten Korallenriffe

Von 1985 bis 2012 ist der Anteil geschädigter Korallen auf rund 25 % gestiegen.

Bis zum Jahr 2050 könnten fast alle Korallenbestände hiervon betroffen sein.

Korallen reagieren empfindlich auf wärmere Temperaturen.

Massive Folgen des Klimawandels für die biologische Vielfalt sind daher im Meer zu beobachten.

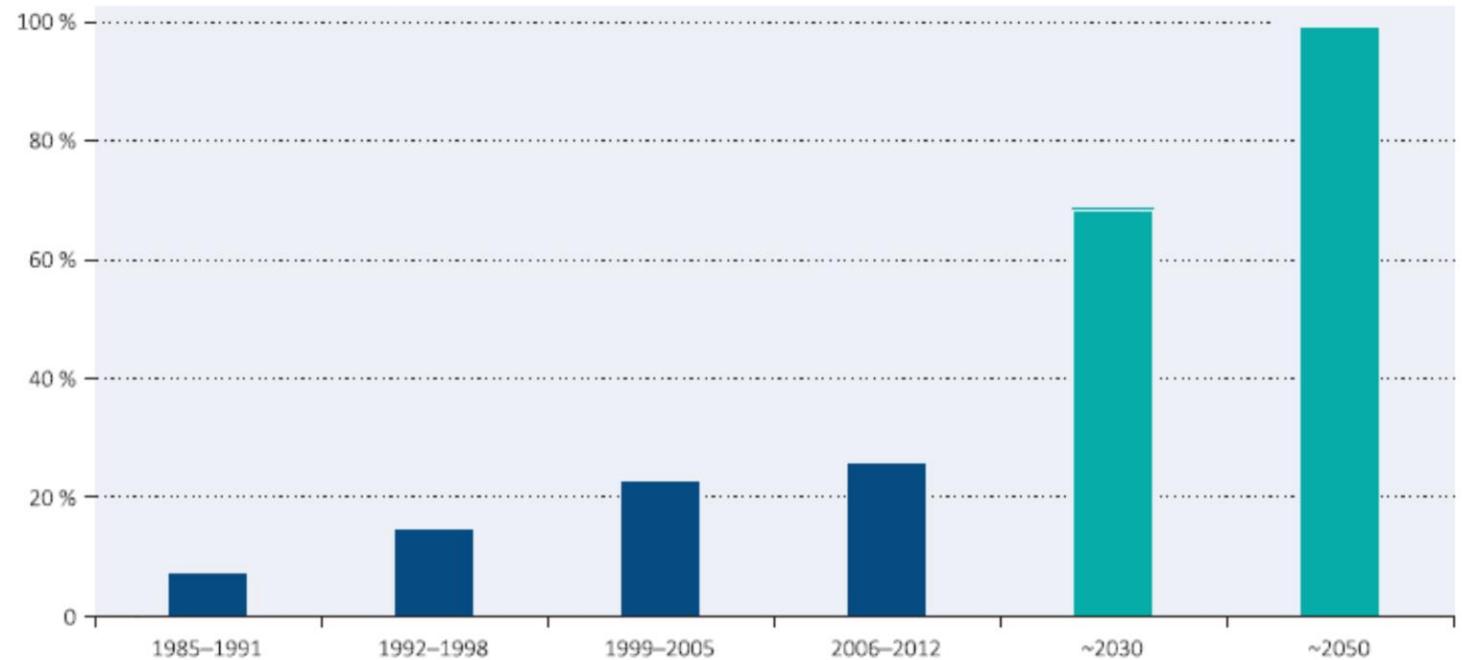
Die aktuellsten Untersuchungen (2016) zeigen, dass 50 - 70% der Korallenbestände geschädigt sind.

Bei einem globalen Temperaturanstieg um 1,5°C werden 70 – 90% der Korallenbestände verschwinden, bei 2°C mehr als 99%.

Das Verschwinden hat massive Auswirkungen auf Fischbestände innerhalb und auch außerhalb der Korallenriffe.

Die Ozeanerwärmung gefährdet die Korallenbestände

Anteil geschädigter Korallen 1985–2012 weltweit in Prozent und Prognose



Quelle: Heron S.F. et al. 2016. Warming Trends and Bleaching Stress of the World's Coral Reefs 1985 – 2012. Scientific Reports 6

Folgen des Klimawandels

5

Der Klimawandel verursacht Hunger und Ernährungskrisen

In der Landwirtschaft werden sich die Folgen des Klimawandels am stärksten bemerkbar machen.

Der Klimawandel beeinflusst Produktion, Qualität, Preis und Verfügbarkeit von Lebensmitteln.

Das wirkt dem Erreichen des Zero-Hunger-Ziels entgegen.

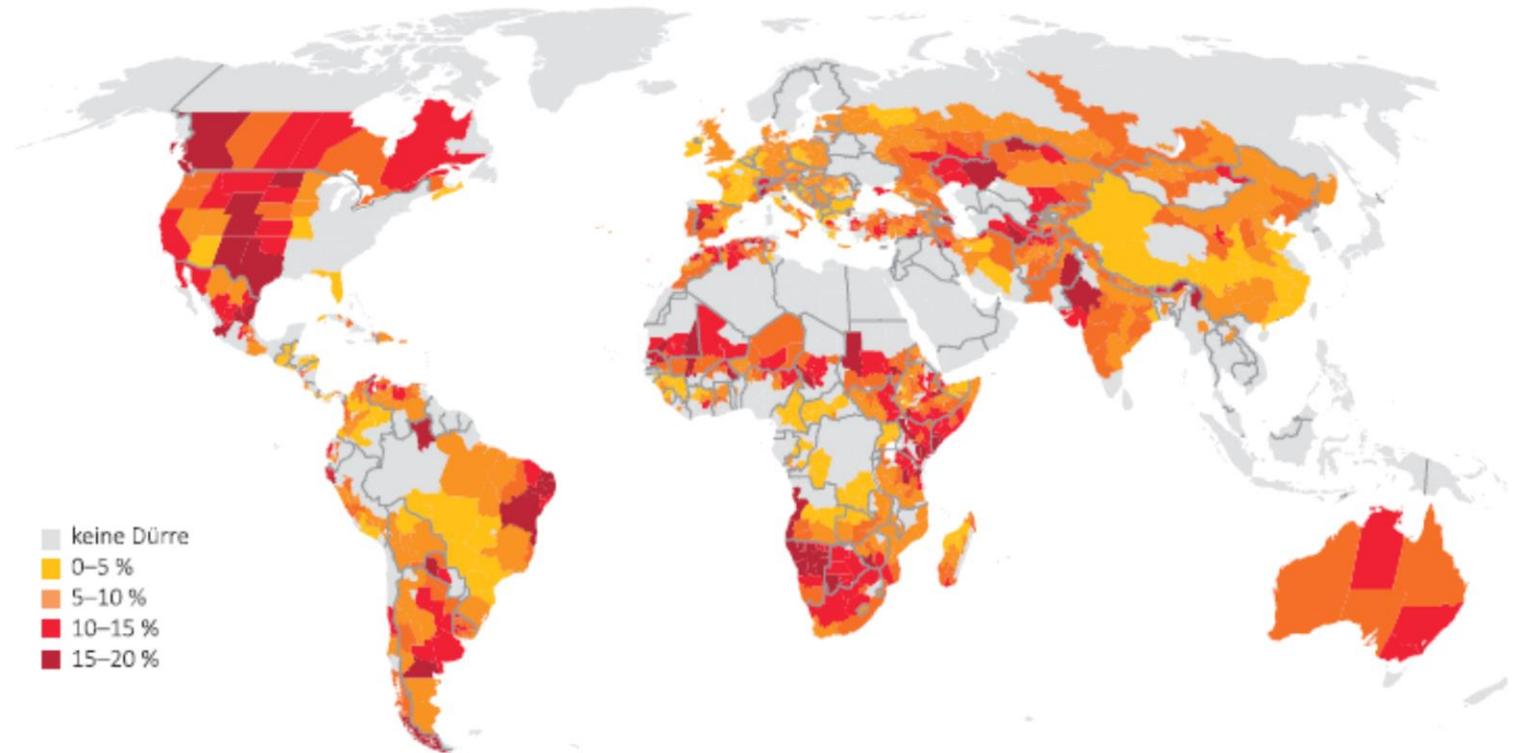
Die Verschiebung von Klimazonen sowie extreme Wetterereignisse wirken sich negativ auf die Erträge von Landwirtschaft, Viehhaltung und Fischerei aus.

Die klimatisch bedingte Ausbreitung von Schädlingen und Nachernteverluste führen zu einer zusätzlichen Verknappung.

Langfristig werden die klimabedingten Verschiebungen der weltweiten landwirtschaftlichen Produktion den internationalen Handel mit Lebensmitteln verändern.

Beispiel für landwirtschaftliche Schäden: Dürren auf Weideflächen

Anteil der 2004 bis 2018 von Dürre betroffenen Weidefläche, in Prozent



Quelle: EU IRC ASAP, o.J. Anomaly Hotspots of Agricultural Production. European Commission Joint Research Center. <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/>

Folgen des Klimawandels

6

Der Klimawandel schadet der Gesundheit

Direkte Auswirkung auf die menschliche Gesundheit sind u. a. Hitzestress und eine dadurch erhöhte Sterblichkeit.

Deutschland lag mit über 2.000 Hitzetoten 2018 zuletzt weltweit an dritter Stelle.

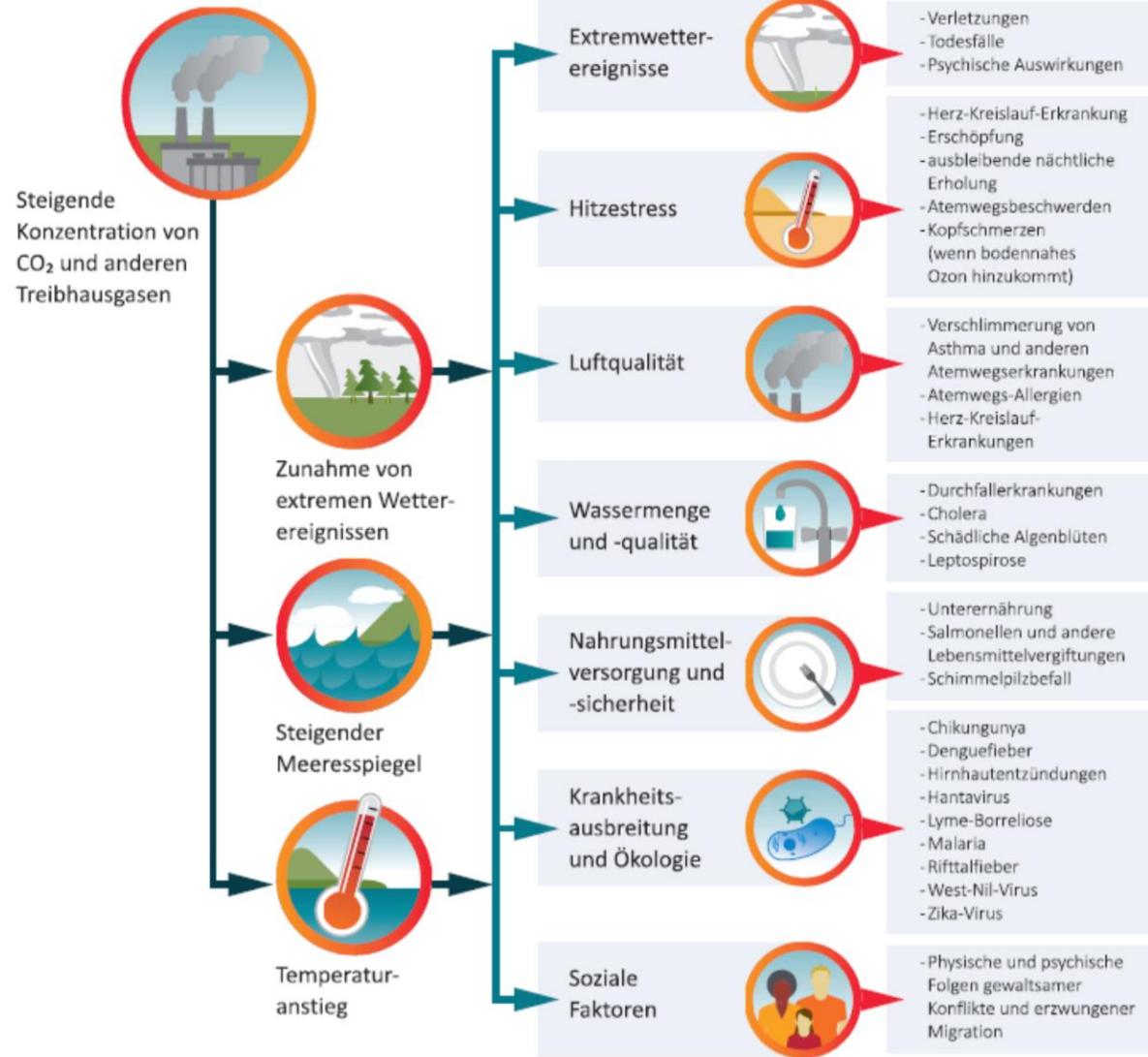
Die Fähigkeit des menschliche Körpers, sich an starke Hitze anzupassen ist sehr begrenzt.

Hitzestress belastet das Herz-Kreislaufsystem vermindert die Erholung während des Schlafs, beeinträchtigt kognitive Leistungen, senkt die Arbeitsproduktivität und erhöht die Unfallgefahr.

Wärmere Temperaturen können die Ausbreitung von Infektionskrankheiten begünstigen.

Zwischen 2030 und 2050 kann der Klimawandel laut Weltgesundheitsorganisation allein durch Mangelernährung, Malaria, Durchfallerkrankungen und Hitzestress schätzungsweise 250.000 Todesopfer pro Jahr fordern.

Gesundheitsrisiken durch Klimawandel



Modifiziert nach Haines A. & Ebi, K., New England Journal of Medicine 380; 263 - 273

Folgen des Klimawandels

7

Kippelemente im Klimasystem könnten den Klimawandel verstärken oder sogar unumkehrbar machen

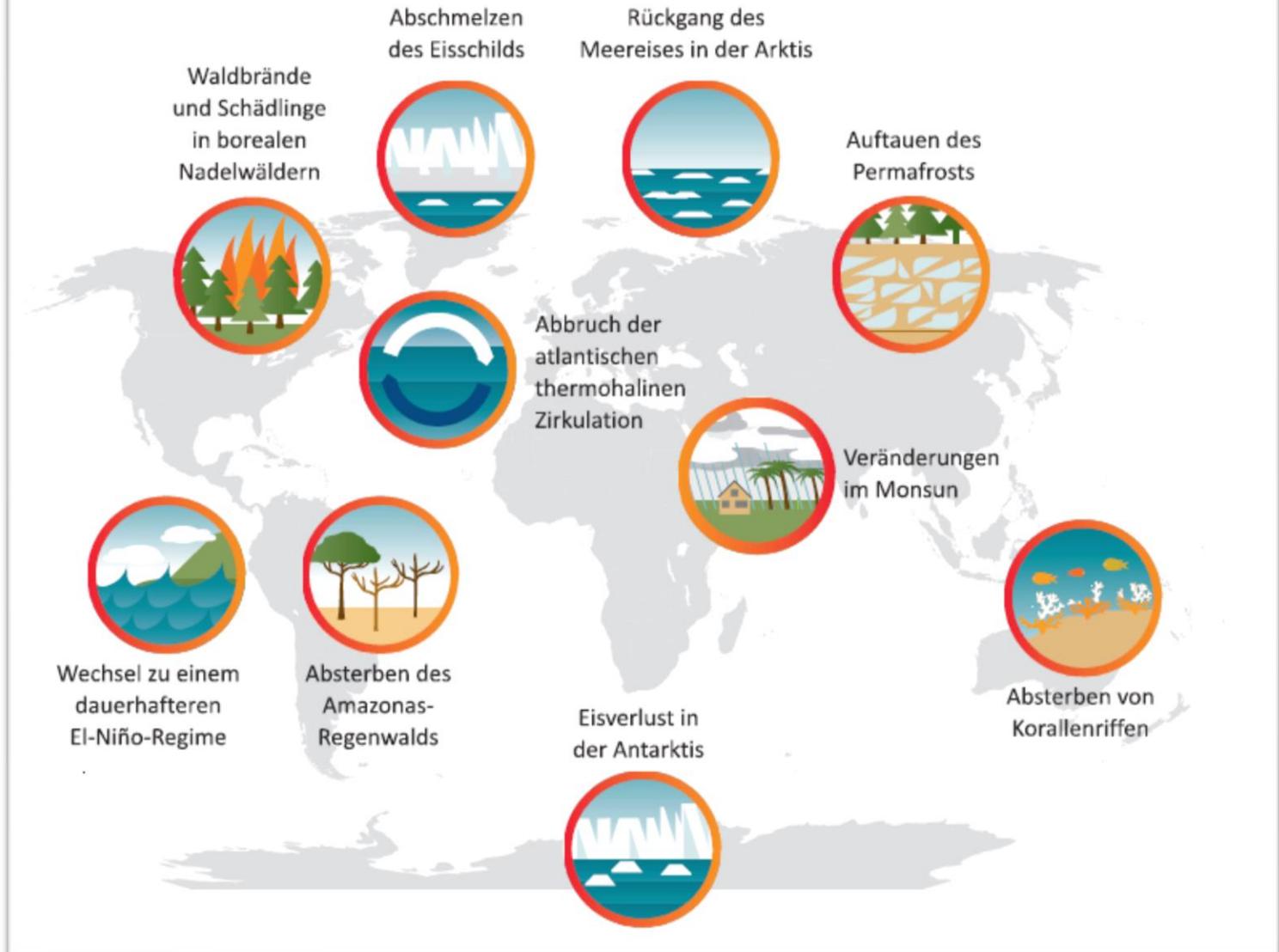
Einige Elemente des Klimasystems haben kritische Schwellenwerte, die bei Überschreiten zu unaufhaltsamen und nicht unumkehrbaren Veränderungen führen.

Die Veränderung von Meeresströmungen kann zu einer Veränderung der klimatischen Verhältnisse führen. (Beispiel: Eine Abschwächung der atlantischen Umwälzzirkulation [Golfstrom] könnte zu einer massiven Abkühlung in Europa führen).

Kipp-Punkte der Eisschilde und Grönland und Antarktis führen zu selbstverstärkenden Eis-Klima-Rückkopplungen (z. B. Eis-Albedo-Rückkopplung, Höhe-Schmelz-Rückkopplung)

Der Eisverlust der Westantarktis hat sich in den letzten 25 Jahren verdreifacht.

Kippelemente im Klimasystem



Folgen des Klimawandels

8 Risiko des Überschreitens mehrerer Klima-Kippunkte

Menschliche Emissionen haben die Erde bereits in die Gefahrenzone der Kippunkte gebracht.

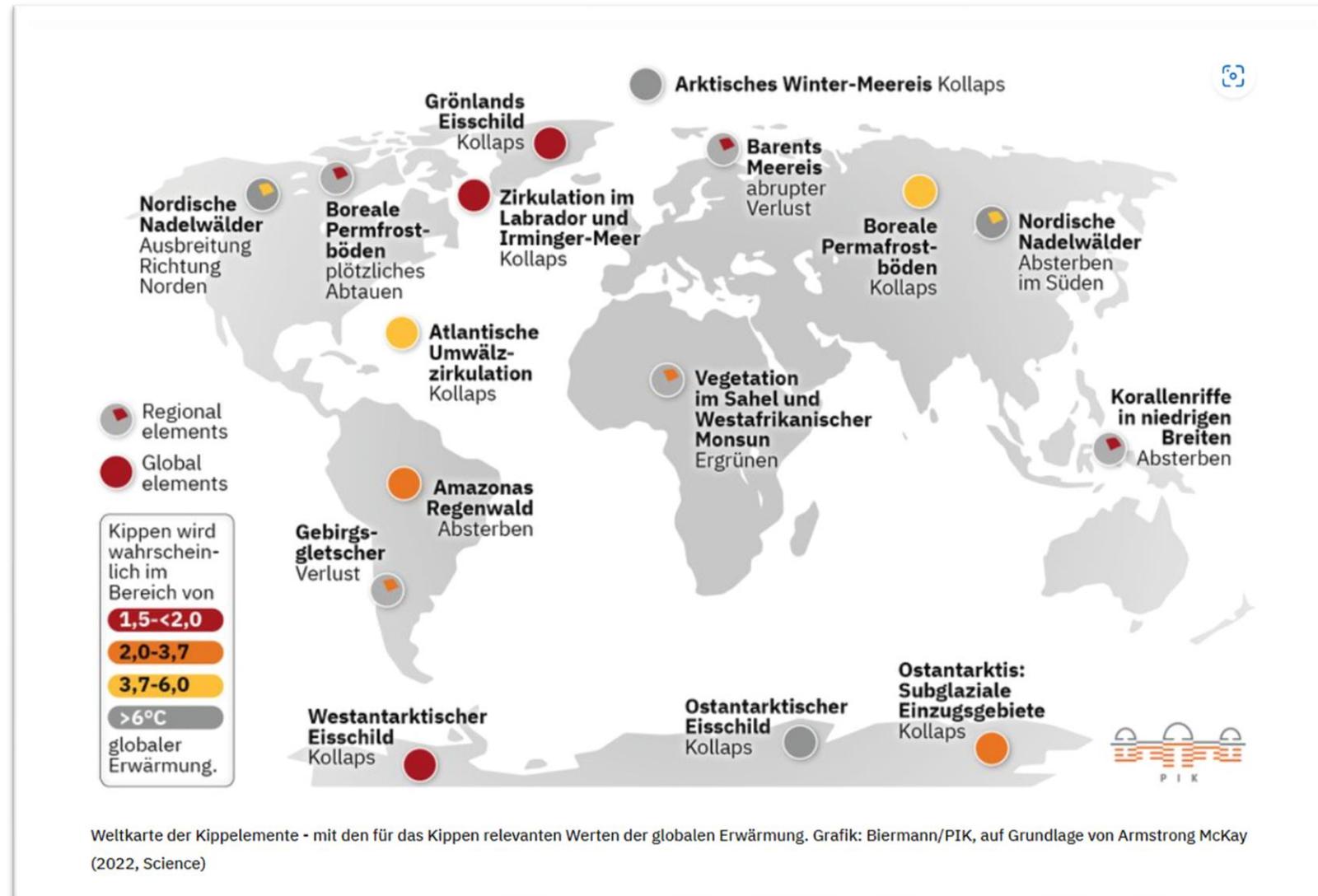
Fünf der sechzehn Kippunkte konnten bei den durch die globale Erwärmung schon heute erreichten Temperaturen ausgelöst werden.

Sechster Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC): Das Risiko des Auslösens von Klimakippunkten bei etwa 2°C über den vorindustriellen Temperaturen ist hoch und bei 2,5 bis 4°C sehr hoch.

Die Erde hat bereits einen 'sicheren Klimazustand' verlassen.

Um eine 50-prozentige Chance zu haben, 1,5 °C zu erreichen und damit das Risiko von Kippunkten zu begrenzen, müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen bis 2030 um die Hälfte reduziert werden, um bis 2050 netto Null zu erreichen.

(Quelle: Risiko des Überschreitens mehrerer Kippunkte steigt bei einer globalen Erwärmung von mehr als 1,5°C, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, September 2022)



Übernommen aus: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Nachrichten: *Risiko des Überschreitens mehrerer Klima-Kipp-Punkte steigt bei einer Erwärmung von mehr als 1,5°C*

Folgen des Klimawandels

9

Das Auftauen des Permafrostbodens setzt weitere Klimagase frei

Die Permafrostgebiete werden zunehmend von Hitzewellen heimgesucht.

Dadurch taut in jedem Sommer die obere Bodenschicht immer länger und tiefer auf.

Mikroorganismen haben es deshalb leichter, pflanzliche und tierische Biomasse zu zersetzen, was zur Freisetzung der Klimagase Methan und CO₂ führt.

Dies führt zu einer Beschleunigung des Klimawandels.

Ab einem bestimmten Punkt könnte eine Kaskade weiterer Klimafolgen ausgelöst werden.

Schätzungen gehen davon aus, dass die Permafrostböden der Arktis etwa die doppelte Menge Kohlenstoff speichern wie aktuell in der Atmosphäre vorhanden ist.

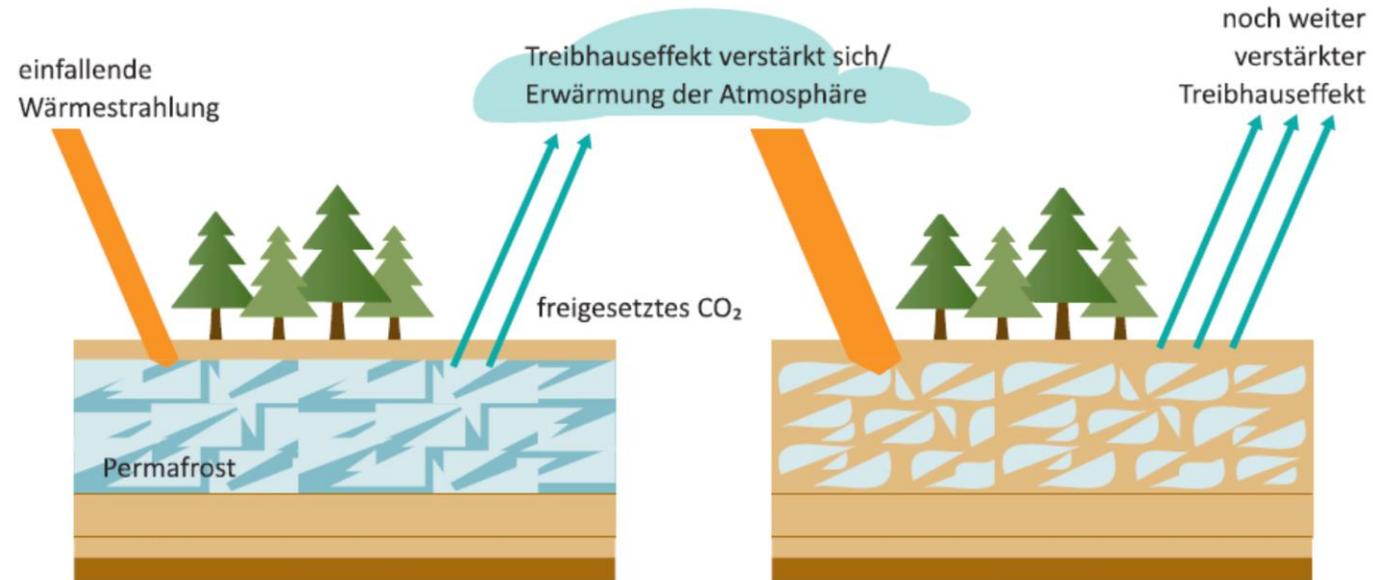
Zusätzlich gefährdet das Tauen des Permafrostbodens die Stabilität von Städten, Verkehrswegen, Pipelines und Industrieanlagen.

Beispiel für ein Kippelement: Permafrost

Die Permafrostböden der Arktis speichern rund die Hälfte des weltweit in Böden gespeicherten Kohlenstoffs

1. Die globale Erwärmung führt zum Auftauen der Böden. Dadurch entweicht der dort gespeicherte Kohlenstoff.

2. Der frei gesetzte Kohlenstoff verstärkt als CO₂ in der Atmosphäre weiter den Treibhauseffekt.



Quellen: IPCC – 2019, *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a changing Climate*
Nitze et al. – 2018, *Remote sensing quantifies widespread abundance of permafrost Region disturbances across the Arctic and Subarctic*, *Nature Communication* 9(1)

Folgen des Klimawandels

10

Trend der Erderwärmung

In dem Maße, in dem der Verbrauch fossiler Brennstoffe abnimmt, werden auch die Aerosolemissionen zurückgehen, die eine gewisse Erderwärmung ausgleichen.

Eine jährliche Verringerung der Emissionen eines einzelnen Treibhausgases um 5 % ab 2020 hat bei einem mittleren Emissionspfad für mehr als zwei Jahrzehnte keine statistisch signifikante Auswirkung auf die Erderwärmung

Dennoch sind rasche Emissionssenkungen unerlässlich, um die Kurve der Erderwärmung abzuflachen

Anmerkung:

Aerosolpartikel sind sehr kleine Mikropartikel, die überall in der Luft vorkommen. Sie sind so klein, dass sie einzeln mit bloßem Auge nicht sichtbar sind. Sichtbar werden sie nur, wenn sie in einer sehr großen Konzentration in der Luft vorkommen, ab etwa 1.000.000 Partikel/cm³

Auf das Klima können Aerosole in vielfältiger Weise einwirken: Zum einen können sie die Sonneneinstrahlung streuen, was abkühlend auf das Klimasystem wirkt. Sie können aber auch Strahlung absorbieren, was eher zur Erwärmung beiträgt. Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass die abkühlenden Effekte von Aerosolen überwiegen

Die Verringerung der Emissionen allein wird keinen signifikanten Einfluss auf den Trend der Erderwärmung in den nächsten zwei Jahrzehnten haben

Tabelle 1

Jahr, in dem eine Reaktion der globalen Temperatur bei 5 % jährlicher Emissionsreduktion ab 2020 erreicht wird*

Kohlendioxid	2044
Methan	2055
Distickstoffoxid	2079
Ruß	2048
Organischer Kohlenstoff	2064

Quelle: Nature Communications 11:3261, Tabelle 3

Aus: Klimarealitätscheck 2020, Herausgegeben von: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Projektteam: David Spratt, Ian Dunlop & Luke Taylor Datum der Veröffentlichung der englischen Originalausgabe: Oktober 2020

Folgen des Klimawandels

11

1,75 bis 2,4°C Erderwärmung bei heutigen Treibhausgaswerten

Höhere Temperaturen werden durch bereits heute in der Atmosphäre vorhandene Treibhausgase entstehen

Das Energie-Ungleichgewicht der Erde (earth energy imbalance, EEI) ist das Strahlungsungleichgewicht am oberen Rand der Atmosphäre zwischen ausgehender und eingehender Strahlung, das die globale Erwärmung antreibt

Wenn ein umsichtiger Ansatz für das Risikomanagement gewählt wird, gibt es kein Kohlenstoffbudget mehr für das 2-Grad-Ziel

Ein Vergleich aktueller Klimamodelle (Stand 2020) zeigt das mittlere Jahr der Erderwärmung von 1,5°C, 2°C, 3°C, 4°C und 5°C für drei Emissionspfade

2°C werden sowohl für das hohe als auch für das mittlere Emissionsszenario vor 2050 erreicht

Bei einem Szenario mit hohen Emissionen können 3°C ~ 2060 und 5°C vor 2100 erreicht werden

Tabelle 2

Szenarien der Erderwärmung	niedrig	mittel	hoch
1,5 °C	2026	2027	2025
2 °C	2058	2044	2038
3 °C	N/A	2090	2059
4 °C	N/A	N/A	2076
5 °C	N/A	N/A	2094

Quelle: Tebaldi et al. (2020) Earth System Dynamics, 16. September, Preprint, Tabelle A7

Aus Klimarealitätscheck 2020, Herausgegeben von: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Projektteam: David Spratt, Ian Dunlop & Luke Taylor Datum der Veröffentlichung der englischen Originalausgabe: Oktober 2020

"Der Klima-Notstand entwickelt sich schneller als vorhergesagt. Wir müssen unsere Maßnahmen ehrgeizig und mit Dringlichkeit beschleunigen. Dies ist der Kampf um unser Leben."

(ANTONIO GUTERRES UN-GENERALSEKRETÄR)

Folgen des Klimawandels

12

Modellrechnungen (3 Szenarien) zur künftigen Entwicklung der Erdtemperaturen

Mit dem Klimamodell MAGIC werden die Zeitpunkte der Schwellenwerte der Temperatur von 1,5°C, 2°C, 2,5°C und 3°C mit farbigen Punkten für verschiedene Emissionspfade dargestellt.

Die bisherige Erderwärmung stimmt mit dem RCP8.5-Pfad für hohe Emissionen überein

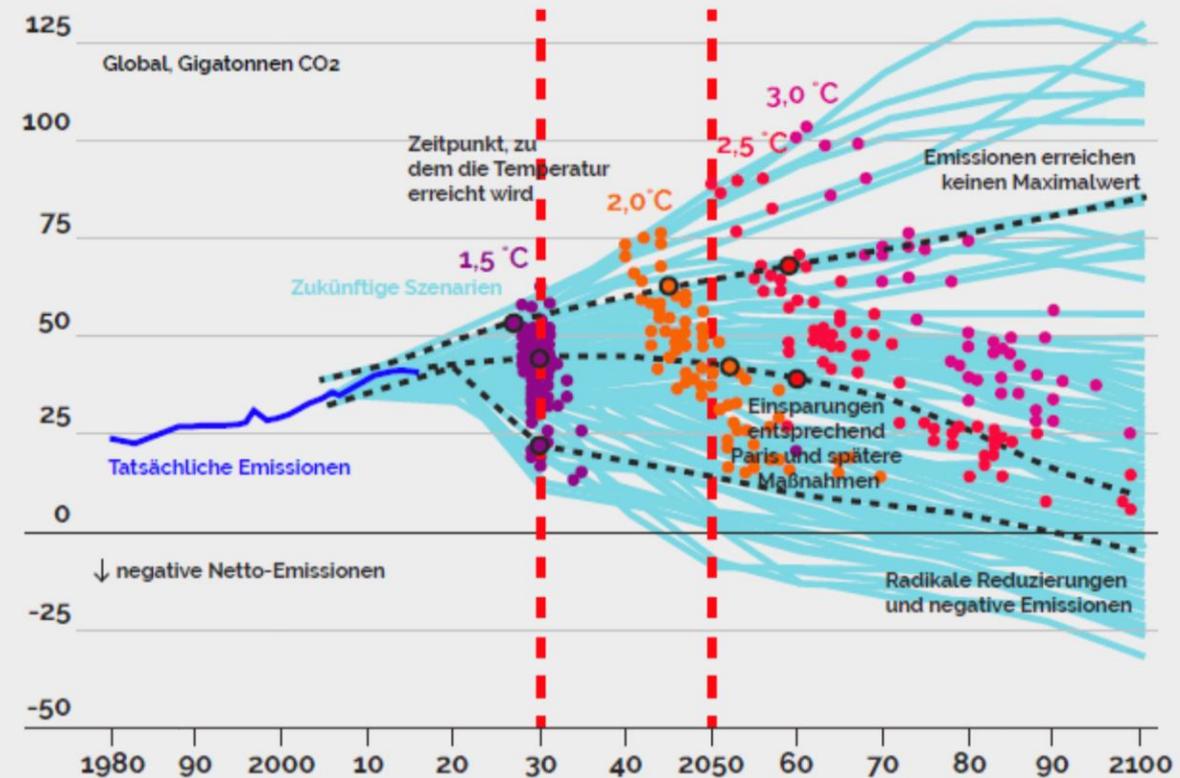
Anmerkung:

Der Begriff repräsentativer Konzentrationspfad (engl. *representative concentration pathway*, daher abgekürzt RCP) wird seit dem Fünften Sachstandbericht des Weltklimarates (IPCC) zur Beschreibung von Szenarien für den Verlauf der absoluten Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre verwendet.

Beim RCP 8.5-Szenario bezieht sich das "Weiter-so-wie-bisher" (bzw. engl. *business as usual*) auf die Modellannahmen, dass einerseits die Klimapolitik von etwa 2010 unverändert fortgesetzt wird und andererseits, dass die Förderung der immer knapper werdenden fossilen Energieträger noch lange Zeit weiter wirtschaftlich attraktiv bleibt, trotz wachsendem Förderaufwand. Manche Wissenschaftler vermuten, dass die Wahrscheinlichkeit für diesen Pfad zukünftig immer weiter abnimmt und fordern daher, dieses in der öffentlichen Kommunikation eher als ein *Worst-Case*-Szenario anstatt als *Business-as-usual* zu kennzeichnen.

Grafik 3

Szenarien für zukünftige CO₂-Emissionen mit drei ausgewählten repräsentativen Pfaden



Quelle: Glen Peters Grafik von GCP, CDIAC-Daten

Aus: Klimarealitätscheck 2020, Herausgegeben von: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Projektteam: David Spratt, Ian Dunlop & Luke Taylor Datum der Veröffentlichung der englischen Originalausgabe: Oktober 2020

Folgen des Klimawandels

13

Das vom IPCC (Weltklimarat) gezeichnete Bild ist zu konservativ

Die zukünftigen Auswirkungen auf das Klima werden erheblich unterschätzt

Schätzung der Klimamodelle, die vom IPCC verwendet werden, schätzen eine Erderwärmungssensitivität von $\sim 3^\circ\text{C}$ bei verdoppeltem CO_2

Bei Berücksichtigung langsamer Rückkopplungen z. B. (Permafrost und Albedo-Veränderungen) kann die Erderwärmung sogar $5 - 6^\circ$ für eine Verdoppelung des CO_2 betragen (siehe Hansen, J. et al Target Atmospheric CO_2 , Open Atmospheric Science Journal, Vol. 2 pp. 217-231. 2008 [<https://pubs.giss.>])

Klimamodelle berücksichtigen die zunehmende Erderwärmung durch den Verlust von arktischem Meereis nicht ausreichend .

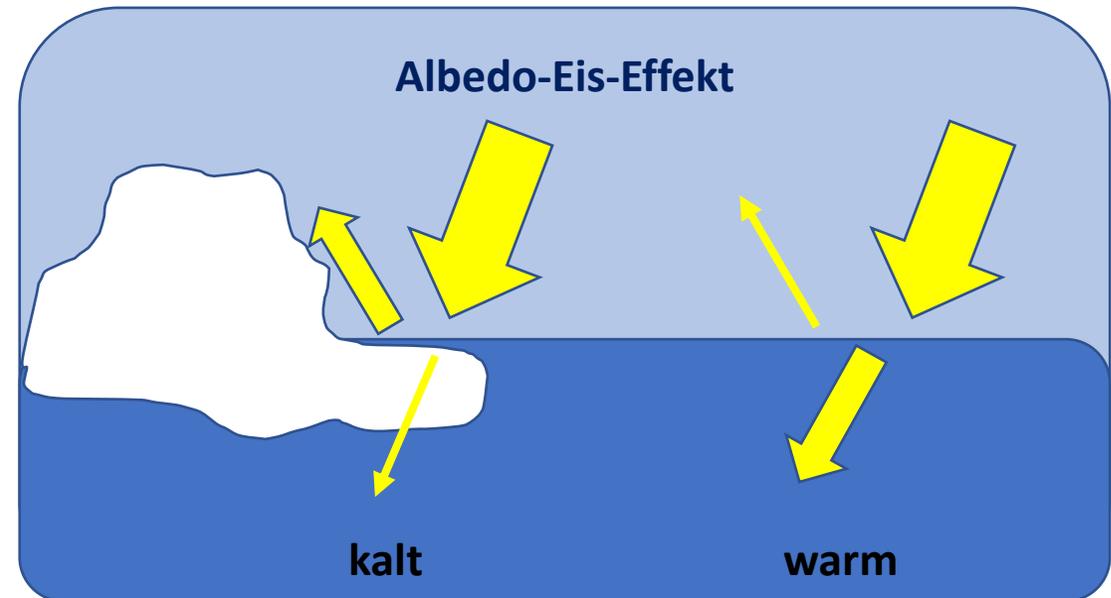
"Der Verlust der Reflexionskraft des arktischen Meereises wird die 2-Grad-Grenze um 25 Jahre nach vorne verschieben."

Quelle: Pistone K. Qeisenman, I & Ramanatham, V. Radiative heating of a nice-free Arctic Ocean, Geophysical Research Letters, Vol. 46, pp 7474-7480, 2019 [[https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com\(doi/abs/10.1029/2019GL082914\);](https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com(doi/abs/10.1029/2019GL082914);) Monroe, R. & IGSD 2019, 'Research Highlight: Loss of Arctic's Reflective Sea Ice will Advance Global Warming by 25 Years', Scripps Institution of Oceanography, San Diego. <https://scripps.ucsd.edu/news/research-highlightloss-srctics-reflective-sea-ice-will-edvance-globalwarming-25-years.>]

Anmerkung:

Definition - Albedo

Genauer ist die Albedo das Rückstrahlvermögen (*physikalisch: Reflexionsgrad*) von diffus reflektierenden, also nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Sie wird bestimmt durch den Quotienten aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge. Die Werte, die die Albedo annehmen kann, reichen von 0 (kein Licht reflektiert) bis 1 (alles Licht reflektiert). Sie können auch in Prozent ausgedrückt werden (0 - 100%). Je größer also der Anteil der reflektierten Strahlung ist, desto heller ist die Oberfläche und um so höher ist die Albedo.



Angelehnt an Graphik des Alfred-Wegenr-Institut (Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung)

Folgen des Klimawandels

14

1,5°C ist kein sicheres Ziel

Lebenswichtige Ökosysteme, darunter das Great Barrier Reef, werden bereits bei einer Erderwärmung von weniger als 1,5°C verwüstet

❖ Die Gletscher des Westantarktischen Eisschildes haben bereits einen Kipp-Punkt überschritten.

Quelle: Rignot, E 2014, 'Global warming: it's a point of no return in West Antarctica. What happens next?', The Guardian, 18. Mai. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2014/may/17/climate-changeantarctica-glaciers-melting-global-warmingnasa>

❖ Die Zieltemperatur des Pariser Abkommens (1,5°C) reicht aus, um seinen galoppierenden Rückzug voranzutreiben.

Quelle: Beltran, C. et al, 2020, 'Southern Ocean temperature records and ice-sheet models demonstrate rapid Antarctic ice sheet retreat under low atmospheric CO2 during Marine Isotope Stage 31', Quaternary Science Reviews, Vol. 228, 15. Januar. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379119306122>

❖ Teile der Ostantarktis könnten ähnlich instabil sein. Drei Viertel des sommerlichen arktischen Meereises sind bereits verloren gegangen.

Quellen: Lenton, TM et al, 2020, 'Climate tipping points — too risky to bet against', Nature, Vol. 575, pp. 592-595. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0>
Jansen, E. et al, 2020, 'Past perspectives on the present era of abrupt Arctic climate change', Nature Climate Change, Vol. 10, pp. 714-721. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0860-7>

❖ Ein Viertel der Eisdecken des Himalaya und des Tian Shan sind bereits verschwunden.

Quelle: Jansen, E et al, 2020, 'Past perspectives on the present era of abrupt Arctic climate change', Nature Climate Change, Vol. 10, pp. 714-721. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0860-7>

❖ Die Waldsysteme in Ost- Süd- und Zentral-Amazonien wechseln zu Nicht-Wald-Ökosystemen

Quelle: Lovejoy, TE & Nobre C 2018, 'Amazon tipping point', Science Advances, Vol. 4, eaat2340. <https://advances.sciencemag.org/content/4/2/eaat2340>

Anmerkung: Was sind Kipp-Punkte?

Derartige Prozesse sind mit kritischen Schwellen im Klimasystem, sogenannten Kipp-Punkten (englisch: Tipping Points) verbunden. Bereits geringe Änderungen im Klimasystem können bewirken, dass Kipp-Punkte erreicht werden, in deren Folge sich das Klima qualitativ ändert.

Anmerkung:

Der Tian Shan, eingedeutscht Tienschan („Himmelsgebirge“), ist ein etwa 2450 km langes, etwa 400 km breites und bis 7439 m hohes Hochgebirge im Norden des innerasiatischen Gebirgssystems Hochasien.

15 Erderwärmung um 2°C ist sehr gefährlich

Da weitere Kipp-Punkte unmittelbar bevorstehen, führen 2°C sicher in die Katastrophe

- ❖ Eine Häufung von Veränderungen (Kipp-Punkte) könnte zwischen 1,5°C und 2°C auftreten.
Quelle: Lenton, TM et al, 2020, 'Climate tipping points too risky to bet against', Nature, Vol. 575, pp. 592-595. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0>
- ❖ Dazu gehören das grönländische Inlandeis, das sich nahe an einem Kipp-Punkt befindet sowie der Amazonas-Regenwald
Quellen: King, MD et al, 2020, 'Dynamic ice loss from the Greenland Ice Sheet driven by sustained glacier retreat', Communications Earth & Environment, Vol. 1, 1. <https://www.nature.com/articles/s43247-020-0001-2>;
Harvey, F 2020, 'Amazon near tipping point of switching from rainforest to savannah – study', The Guardian, 5. Oktober. <https://www.theguardian.com/environment/2020/oct/05/amazon-near-tipping-point-of-switching-from-rainforest-to-savannah-study>
- ❖ Es ist ein großer Irrtum zu glauben, wir könnten das Erdsystem an jedem beliebigen Temperaturanstieg "parken" und erwarten, dass es dort bleibt. 2°C sind womöglich kein Garant für die Stabilität des Systems
Quellen: Readfearn, G 2018, 'Earth's climate monsters could be unleashed as temperatures rise', The Guardian, 6. Oktober. <https://www.theguardian.com/environment/planet-oz/2018/oct/06/earth-climate-monsters-could-be-unleashed-as-temperatures-rise>
- ❖ Der ehemalige NASA-Klimachef Prof. James Hansen sagte, dass es *"von der wissenschaftlichen Gemeinschaft gut verstanden wird", dass Ziele, die vom Menschen verursachte Erderwärmung auf 2°C zu begrenzen, "eine Garantie für Katastrophen sind"*
Quelle: Spratt, D 2011, 'Rethinking a "safe climate": have we already gone too far?', Climate Code Red, 23. Januar. www.climatecodered.org/2011/01/rethinking-safeclimate-have-we-already.html

Schon 2° C Erderwärmung können ein "Treibhaus-Erde"-Szenario ("hothouseearth") mit sich selbstverstärkender Erderwärmung auslösen

Wir sind dem dramatischen Klimawandel gefährlich nahe, der sich unserer Kontrolle entziehen könnte

- ❖ Rückkopplungen des Klimasystems und ihre gegenseitige Wechselwirkung können das Klima des Erdsystems an einen Punkt ohne Wiederkehr treiben

Quellen: Steffen, W et al, 2018, 'Trajectories of the Earth System in the Anthropocene', Proc. Natl. Acad. Sci., Vol. 115, pp. 8252-8259. <https://www.pnas.org/content/115/33/8252> 39

- ❖ Dieser planetarische Schwellenwert könnte bereits bei einem Temperaturanstieg von nur 2° C vorliegen, möglicherweise sogar im Bereich zwischen 1,5° C und 2° C.

Quelle: Hansen, J et al 2007, 'Climate change and trace gases', Phil. Trans. R. Soc. A, Vol. 365, pp. 1925–1954. <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rsta.2007.2052>

Folgen des Klimawandels

17

Die Welt ist auf dem besten Weg zur Erderwärmung um 3 bis 5° C bis 2100

Wir steuern auf eine Erderwärmung zu, die unvereinbar ist mit einer organisierten globalen Gemeinschaft

❖ Der Temperaturanstieg folgt immer noch dem emissionsintensiven RCP8.5-Pfad. Der Pfad entspricht bis zur Mitte des Jahrhunderts auch am besten den aktuellen und erklärten politischen Strategien

Quelle: Schwalm, CR, Glendon, S & Duffy, PB 2020, 'RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions', Proc. Natl. Acad. Sci., Vol. 117, pp. 19656-19657. <https://www.pnas.org/content/117/33/19656> Roberts, D 2011, 'the brutal logic of climate change', Grist, 6. Dezember. <https://grist.org/climatechange/2011-12-05-the-brutal-logic-of-climatechange/>

❖ *"Bei 4° C ist es schwer vorstellbar, wie wir acht Milliarden Menschen oder vielleicht auch nur die Hälfte davon versorgen können"*(Prof. Johann Rockström)

Quelle: Vince, G 2019, 'The heat is on over the climate crisis. Only radical measures will work', The Guardian, 19. Mai. <https://www.theguardian.com/environment/2019/may/18/climate-crisis-heat-is-on-global-heating-four-degrees-2100-changeway-we-live>

❖ Bei einer Erderwärmung um 3° C würde die Nahrungsmittelproduktion nicht mehr ausreichen, um die Weltbevölkerung zu ernähren, da die Ernteerträge im weltweiten Durchschnitt um ein Fünftel zurückgingen, der Nährstoffgehalt der Feldfrüchte abnähme, die Insektenpopulationen katastrophal zurückgingen, es zur Wüstenbildung, Monsunausfällen und chronischen Wassermangel käme.

Quelle: Spratt, D & Dunlop, I 2019, 'The third degree: Evidence and implications for Australia of existential climate-related security risk', Breakthrough, Melbourne. https://52a87f3e-7945-4bb1-abbf-9aa66cd4e93e.filesusr.com/ugd/148cb0_c65caa20ecb342568a99a6b179995027.pdf

❖ 3° C wäre katastrophal für die ärmsten 3 Milliarden Menschen auf der Welt, bei denen es sich überwiegend um sich selbst versorgende Bauern handelt, deren Lebensgrundlage stark beeinträchtigt, wenn nicht gar zerstört würde (schwere Überschwemmungen, bis fünfjährige Megadürre, Hitzewellen)

Quelle: Xu, Y & Ramanathan, V 2017, 'Well below 2 °C: Mitigation strategies for avoiding dangerous to catastrophic climate changes', Proc. Natl. Acad. Sci., Vol. 114, pp. 10315-10323. <https://www.pnas.org/content/114/39/10315>

❖ Der Meeresspiegel würde um mehrere zehn Meter ansteigen

Quelle: Rohling, E et al, 2009, 'Close relationship between past warming and sea-level rise', Science Daily, 7. Juli. <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/06/090622103833.htm>

Folgen des Klimawandels

18

Die Klimageschichte gibt einen Ausblick auf unsere heiße Zukunft

Das letzte Mal, als die Erde das derzeitige Niveau von Treibhausgasen aufwies, gab es Wald in der Antarktis

- ❖ Während des Pliozäns vor 3 bis 5 Millionen Jahren, als der CO₂-Gehalt ähnlich hoch war wie heute, waren die Temperaturen 2 bis 4° höher als in der vorindustriellen Zeit und der Meeresspiegel 20 bis 25 Meter höher

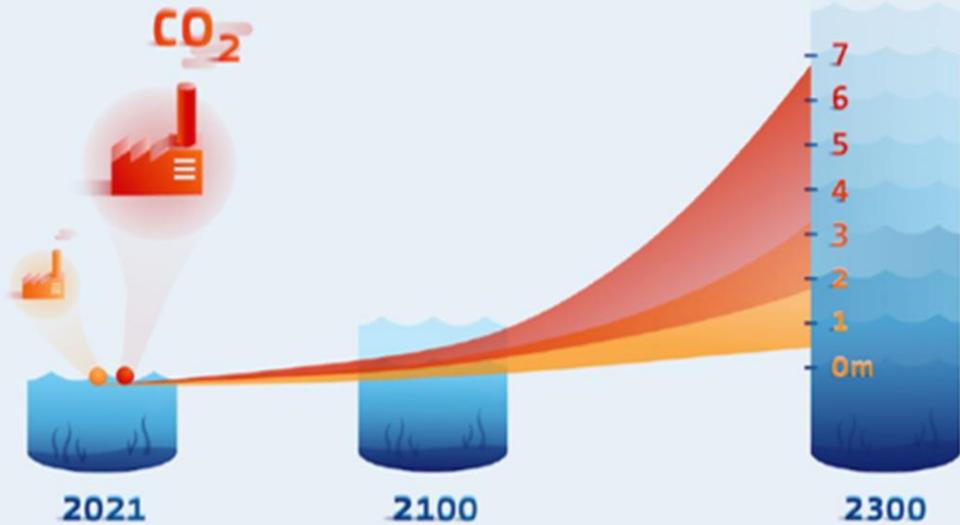
Quelle: Burke, KD et al, 2018, 'Pliocene and Eocene provide best analogs for near-future climates', Proc. Natl. Acad. Sci. Vol. 115, pp. 13288-13293. <https://www.pnas.org/content/115/52/13288>; McClymont, EL et al, 2020, 'Lessons from a high-CO₂ world: an ocean view from ~3 million years ago', Climate of the Past, Vol. 16, pp. 1599–1615. <http://cp.copernicus.org/articles/16/1599/2020/cp-16-1599-2020.html>

- ❖ Das deutet darauf hin, dass es kein grönländisches Eisschild mehr gab, kein westantarktisches Eisschild und große Teile des ostantarktischen Eisschildes abgetragen waren

Quelle: Carrington, D 2019, 'Last time CO₂ levels were this high, there were trees at the South Pole', The Guardian, 3. April. <https://www.theguardian.com/science/2019/apr/03/south-pole-tree-fossilsindicate-impact-of-climate-change>

Folgen des Klimawandels

19 Voraussichtlicher Anstieg des Meeresspiegels



Das Meer ist ein träges System, deshalb lang andauernder Anstieg

Was könnte passieren?

Auswirkungen bei 0,5 m Anstieg des Meeresspiegels (= 3° Temperaturanstieg)

- Große Teile von Bangladesch und Florida würden untergehen
- Shanghai, Lagos, Mumbai (Bombay) werden überflutet
- Große Ströme von Klimaflüchtlingen
- Deutlicher Rückgang der weltweiten Nahrungsmittelproduktion
- Zunahme extremer Wetterereignisse
- Selbstverstärkende Rückkopplungseffekte treten ein (Auftauen des Permafrostes = Freisetzen von Methan, Waldsterben = Freisetzung von CO₂, Schmelzen der Polareiskappen)

Insgesamt: Völliges Chaos + möglicher Nuklearkrieg

Erwärmung um 4°

- Weltbevölkerung könnte um 80 % reduziert werden
- Anpassung an diese Temperaturerhöhung ist nicht mit Gewissheit möglich (**Quelle: Weltbank**)
- Grenzen für die Anpassung an natürliche Systeme ist weltweit überschritten

(**Quelle: R. Warren, The role of interactions in a world implementing adaption and migration solutions to Climate change, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* Vol. 369 pp. 217 – 241**)

Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC)

Die konsensorientierte Arbeit des Weltklimarates (finden des kleinsten gemeinsamen Nenners) führt zu einer Verwässerung der Einschätzung der klimabedingten Risiken.

Dies wird durch die fast ausschließliche Fokussierung auf die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten des Eintritts negativer Klimafolgen noch wesentlich verstärkt.

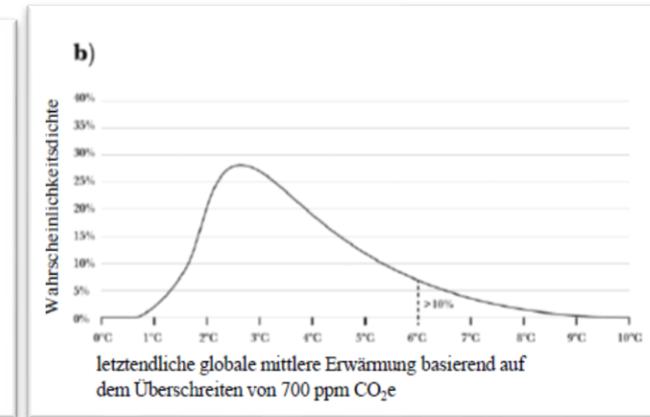
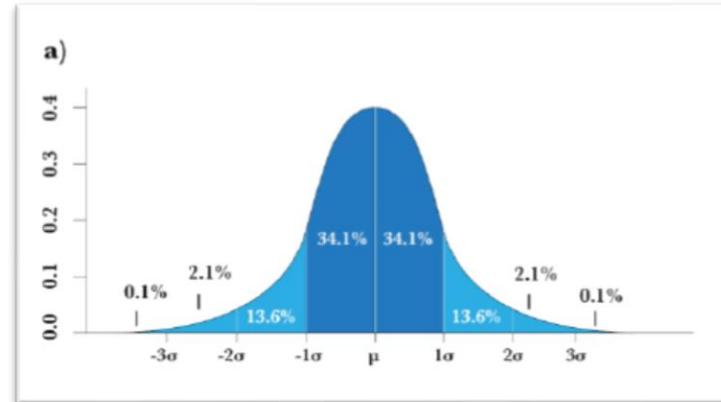
Insgesamt werden damit die bestehenden Risiken stark unterbewertet

Auswirkung: "Bereits 2007 deutete der damalige NASA-Chef für Klimawissenschaften, Prof. James Hansen, darauf hin, dass die wissenschaftliche Zurückhaltung die Kommunikation mit der Öffentlichkeit über die Gefahren der globalen Erwärmung und eines möglicherweise großen Anstiegs des Meeresspiegels behindert."
(Hansen, J 2007, 'Scientific reticence and sea level rise', *Environmental Research Letters*, vol. 2, no. 2, 024002.)

Erst in letzter Zeit ist klargeworden, dass die Risiken, die der Klimawandel mit sich bringt, weitaus größer sind als zuvor angenommen. Man hat viel Zeit verspielt.

Quelle: What lies beneath, Die Unterbewertung des existentiellen Klimarisikos, David Spratt & Jan Dunlop, Australien, Hrsg. Breakthrough, National Centre for Climate Restoration, S. 4ff (deutsche Übersetzung)

Falsche Beurteilung der Wahrscheinlichkeiten



Eine Normalverteilung mit dem Aussehen einer Glockenkurve ist symmetrisch in den Wahrscheinlichkeiten niedriger Ergebnisse (linker Bereich der Kurve) und hoher Ergebnisse (rechter Bereich der Kurve), wie in Abbildung 1(a) dargestellt. Aber, wie Prof. Michael E. Mann erklärt, „zeigt die globale Erwärmung stattdessen das, was wir eine Verteilung mit ‚fetttem Verteilungsende‘ oder ‚Fat-Tail‘-Verteilung nennen, es gibt mehr Fläche unter dem äußersten rechten Rand der Kurve als wir bei einer Normalverteilung erwarten würden, eine größere Wahrscheinlichkeit einer Erwärmung, die weit über dem von Klimamodellen vorhergesagten durchschnittlichen Ausmaß der Erwärmung liegt“, wie in Abbildung 1(b) dargestellt.

Mann, M. 2016, 'The fat-tail of Climate Change risk' Huffington Post, 11 September 2016

Folgen des Klimawandels

21

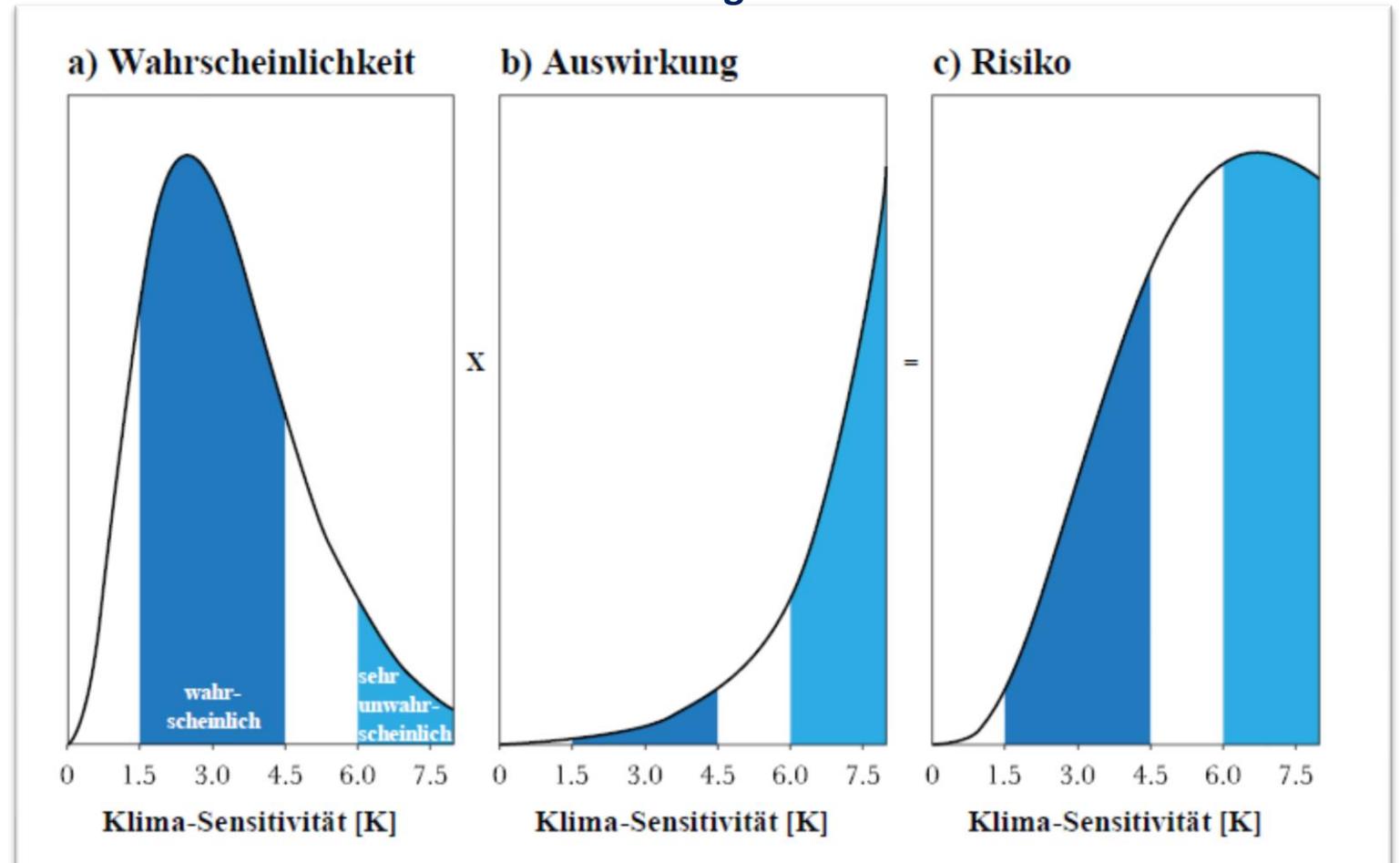
Risikobewertung (Fortsetzung)

- a) Eintritts-Wahrscheinlichkeit
- b) Auswirkungen
- c) Erzeugtes Risiko

Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit am oberen Ende der Wahrscheinlichkeits-Verteilung haben das höchste Risiko

Quelle. What lies beneath, Die Unterbewertung des existentiellen Klimarisikos, David Spratt & Jan Dunlop, Australien, Hrsg. Breakthrough, National Centre for Climate Restoration, S. 14 (deutsche Übersetzung)

Schema des klimabedingten Risikos



Die Risiken bedrohen unsere Existenz

Vernünftiges Risikomanagement begegnet Risiken rechtzeitig, um sie zu verhindern

Ermittlung eines Risikos (R)

die Faktoren:

1. potenzieller Schaden (D), bei Eintritt des Risikos
2. Die Wahrscheinlichkeit (p) des Eintritts

Risiko = Multiplikation beider Faktoren (Normalfall):

Schaden(D) mal Wahrscheinlichkeit (P) = Risiko (R)

$$D \times p = R$$

Zusätzlich müssen die *Reaktionszeit* [t] (Dauer der Lösung des Problems) und die *Interventionszeit* [T] (die Zeit, die man tatsächlich hat, bevor es zu spät ist) berücksichtigt werden.

Siehe **Titanic**: Wenn die Reaktionszeit länger ist als die verbleibende Interventionszeit, also $t/T > 1$, dann haben wir die Kontrolle verloren

Bezogen auf das Klima:

Das Überschreiten von Kipp-Punkten, deutet darauf hin, dass wir uns in einem Ausnahmezustand befinden. (Globale Kipp-Punkte sind nicht mehr ausschließbar).

Dies zu berücksichtigen ändert die Formel

$$\text{Ausmaß der Krise (E)} = R (\text{Risiko}) \times U (\text{Dringlichkeit}) = (p \times D) \times (t / T)$$

Quelle: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Australien 2020.

Klima-Realitätscheck 2020 (Zusammenfassung der aktuellen Klimaforschung aus der ganzen Welt)



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

23 Auch für die Natur sind die Risiken existenziell

Wir stehen vor dem sechsten Massenaussterben in der Geschichte der Erde

- Die Geschwindigkeit der Veränderung ist entscheidend
- Viele Ökosysteme haben sich innerhalb eines Jahrhunderts nicht an eine Temperaturerhöhung von 1°C angepasst
- Die Erderwärmung in den Jahren 2010 -2019 $> 0,25^{\circ}$ und wird in Zukunft noch höher ausfallen
- Bei einer Erwärmung (global) um $3,5^{\circ}\text{C}$ bis 2100 können sich nur 30% der betroffenen Ökosysteme und 17 % aller Wälder anpassen

Quellen: Ceballos, G et al, 2015, 'Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction', Science Advances, Vol. 1, 19. Juni.
<https://advances.sciencemag.org/content/1/5/e1400253>; Román-Palacios, C & Wiens, JJ 2020, 'Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival', Proc. Natl. Acad. Sci., Vol. 117, pp. 4211-4217. <https://www.pnas.org/content/117/8/4211>

Leemans, R & Eickhout, B 2004, 'Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change', Global Environmental Change, Vol. 14, pp. 219-228.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378004000391>



Vernünftiges Risikomanagement muss sich auf die Risiken mit besonders großen Auswirkungen konzentrieren

Vorsichtsmaßnahmen sind notwendig, um existenzgefährdende Folgen zu verhindern

- Vermeiden, dass sich die Welt einer Kaskade von Kipp-Punkten nähert. Es zeichnen sich bereit erste Beispiele ab.
Quelle: Lenton, TM et al, 2020, 'Climate tipping points — too risky to bet against', *Nature*, Vol. 575, pp. 592-595.
<https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0>
- Klimawandel ist ein existenzielles Risiko für die menschliche Zivilisation, bezogen auf die heutige Gesellschaft
- **Quelle:** Schellnhuber, HJ 2018, 'Foreword', in Spratt, D & Dunlop, I, in *What lies beneath: The Understatement of existential Climate risk*, Breakthrough, Melbourne. <https://www.breakthroughonline.org.au/whatliesbeneath>
- Zusätzlich Vorsorgemaßnahmen für Risiken mit besonders großen Auswirkungen (fat-tail-Risiken) sind notwendig
- Eine Berechnung ausschließlich von Wahrscheinlichkeiten (Vorgehen des Weltklimarates) macht in den kritischsten Fällen wenig Sinn.
- Identifizieren der fat-tail-Risiken und Konzentration darauf, dann Gegenmaßnahmen ergreifen, um ihr Auftreten zu verhindern

Grundlegende Fragen, die wir uns über das Klima stellen müssen

- Wie nahe sind wir davor, die Kontrolle zu verlieren?
- Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass wir die Kontrolle bereits verloren haben?
- Wie groß ist das Krisenrisiko bzw. das Risiko des Untergangs?
- Kann die Reaktionszeit zur Lösung des Problems z.B. von 2050 auf 2030 reduziert werden?
- Kann die zur Vermeidung einer Katastrophe verfügbare Interventionszeit verlängert werden? (Wie kann das Tempo der Erderwärmung verlangsamt und die Erde gekühlt werden?)

Folgen des Klimawandels

25

Klimaprognose 2050

Ein düsteres Bild (Worst Case Szenario)

Das Ausmaß der Zerstörungen könnte aktuelle Vorhersagen übertreffen

- ❖ Bereits in 2050 könnte das Ende der Menschheit eingeläutet werden
- ❖ Emissionen der Treibhausgase steigen weiter (anstatt reduziert zu werden)
- ❖ Erst ab 2030 würden die Emissionen beginnen zu sinken (wenn alle internationalen Vorgaben eingehalten werden)
- ❖ Die positiven Effekte auf das Klima würden erst Jahrzehnte später wirksam werden. Die Erwärmung würde bis 2050 auf + 3 °C steigen

Zu erwartende FOLGEN:

- Der Meeresspiegel ist dann schon um 0,5 Meter angestiegen
- 55% der globalen Bevölkerung sind dann über 20 Tage pro Jahr tödlicher Hitze ausgesetzt (jenseits menschlicher Überlebensfähigkeit)
- Wichtige Ökosysteme brechen zusammen
- Ärmere Gegenden der Erde werden unbewohnbar (keine Mittel zum Schutz vor der Hitze verfügbar)
- Über eine Milliarde Menschen aus tropischen Gebieten müssen ihre Heimat verlassen
- Für 2 Milliarden Menschen wird das Trinkwasser knapp
- Nahrungsmittel werden knapp, Preise explodieren
- Ohne baldige Maßnahmen nähern wir uns schon Mitte des Jahrhunderts einem **Point of no return** (u.a. wg. Der Kippunkte)



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Maßnahmen gegen den Klimawandel



Wenn wir den gegenwärtigen Weg fortsetzen, *"besteht das sehr große Risiko, dass wir unsere Zivilisation einfach auslöschen. Die menschliche Spezies wird zwar irgendwie überleben, aber wir werden fast alles zerstören, was wir in den letzten Zweitausend Jahren aufgebaut haben."*

PROF. HANS JOACHIM SCHELLNHUBER

Direktor Emeritus des Potsdam-Instituts (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

Quelle: Klimarealitätscheck 2020, Herausgegeben von: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Projektteam: David Spratt, Ian Dunlop & Luke Taylor Datum der Veröffentlichung der englischen Originalausgabe: Oktober 2020

Maßnahmen gegen den Klimawandel

1

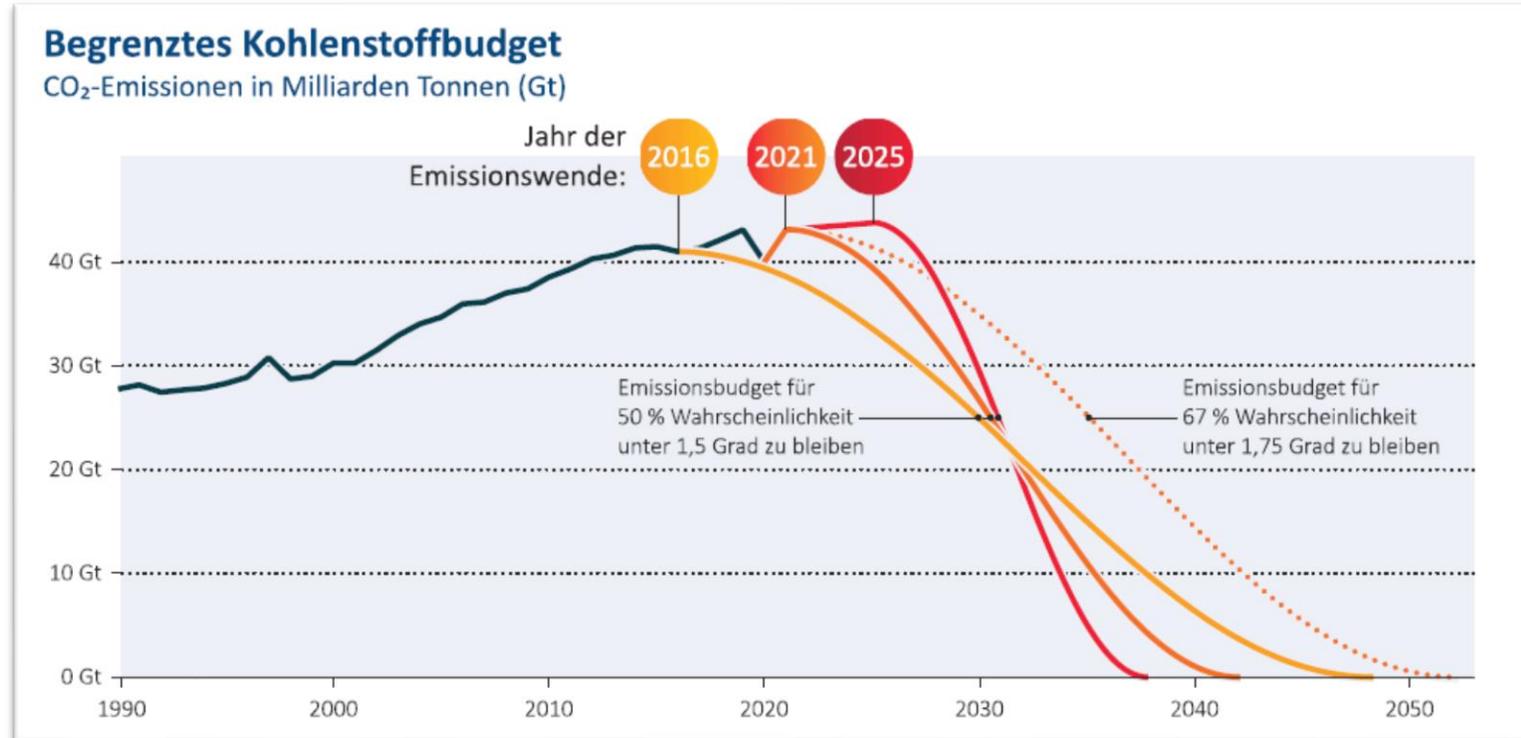
Die Menschheit hat nur noch ein begrenztes Kohlenstoffbudget zur Verfügung

Für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 Grad beträgt die Gesamtmenge der Emissionen weniger als 300 Gigatonnen CO₂.

Je später mit der Reduktion der Emissionen begonnen wird, desto schneller und extremer müssen die Veränderungen später vonstatten gehen.

Es ist schon jetzt zu heiß; wir sind dem "Treibhaus-Erde"-Szenario gefährlich nahe

Die Hauptaufgabe besteht darin, Kapazitäten aufzubauen, um Emissionen schnell und in großem Maßstab zu beseitigen



IPCC – 2018. Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Warming of 1,5°C. Verfügbar unter: <https://www.ipcc.ch/sr15>

Maßnahmen gegen den Klimawandel

2

Alle Staaten müssen die Emissionen deutlich senken

Die bisher beschlossenen Emissionsreduzierungen reichen nicht aus.

Anhand der Projektionen der Emissionen der Staaten der Welt wird deutlich, dass die vorgesehenen Emissionsreduzierungen noch deutlich zu niedrig sind, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen.

Die derzeitigen Treibhausgaskonzentrationen könnten bereits ausreichen, um längerfristig eine Erderwärmung von 2 bis 4° C zu verursachen

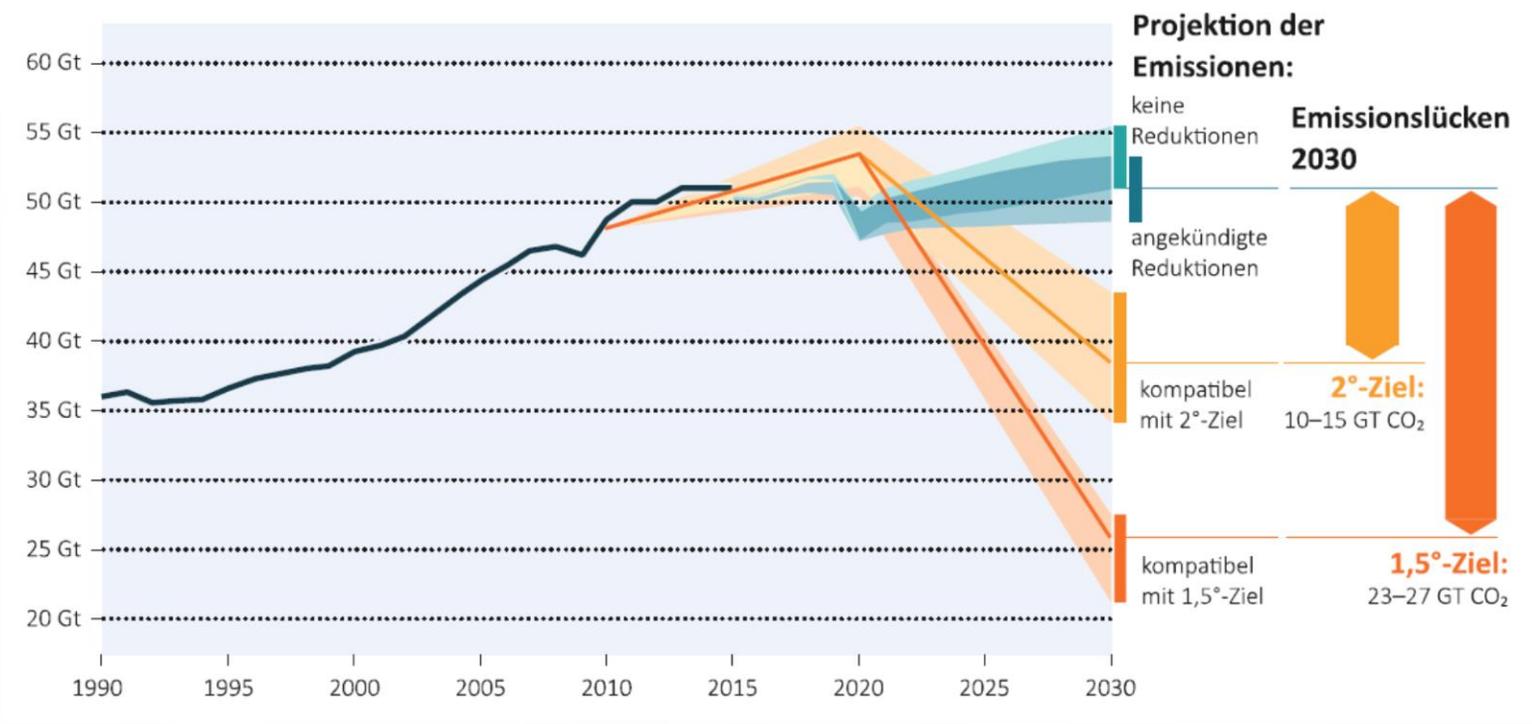
Um den Klimawandel auf 2°C zu begrenzen, müssten bis 2030 zusätzlich zu den bereits geplanten Reduktionen weitere 10 – 15 Gigatonnen CO₂ eingespart werden. Um ihn auf 1,5°C zu begrenzen, müssten sogar 23 – 27 Gigatonnen eingespart werden.

Die heute nach dem *Paris Agreement* zu erwartenden Temperaturanstiege liegen im Bereich von 3–5 °C. Schon 3 °C Erwärmung bedeuten aber ein existentielles Risiko.

Ein Zeitrahmen bis 2050 wird katastrophale Folgen haben

2030 müssten die Emissionen deutlich niedriger sein als von den Staaten geplant

Projektionen für CO₂-Emissionen und Emissionslücken in Milliarden Tonnen CO₂ (Gt)



Quelle: Climate Action Tracker – o.J. <https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gap>

Maßnahmen gegen den Klimawandel

3

Sogenannte negative Emissionen könnten nur einen begrenzten Beitrag leisten

Viele der möglichen Technologien für negative Emissionen verursachen Zielkonflikte.

Eine Aufforstung in großem Maßstab würde z. B. das Land für den Lebensmittelanbau verknappen.

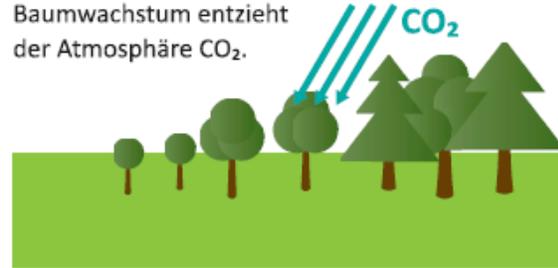
Viele der für negative Emissionen vorgesehenen Technologien sind nur in kleinen, lokalen Anwendungen erprobt. Es ist unsicher, wie weit diese global und in großem Maßstab eingesetzt werden können.

Die CO₂-Speichermöglichkeiten sollten also mit Bedacht in eine Gesamtstrategie zur Begrenzung des Klimawandels eingebunden werden.

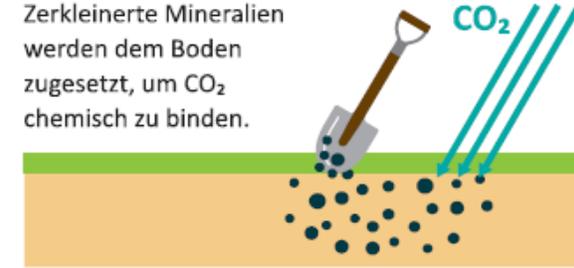
Die Klimapolitik muss die kurzfristige Emissionsreduktion und einen Umbau der Energiesysteme als Priorität haben.

Beispiele für Technologien für negative Emissionen

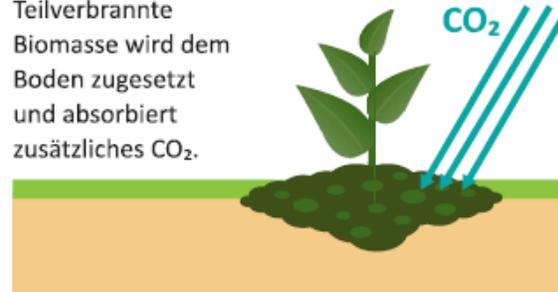
(Wieder-) Aufforstung
Baumwachstum entzieht der Atmosphäre CO₂.



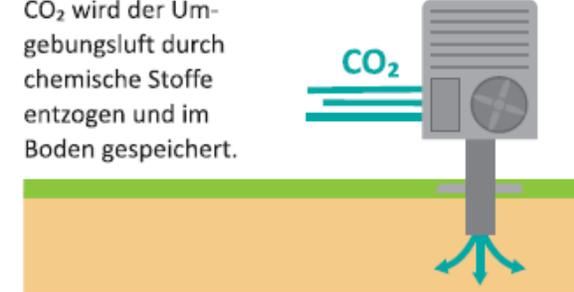
Forcierte Verwitterung
Zerkleinerte Mineralien werden dem Boden zugesetzt, um CO₂ chemisch zu binden.



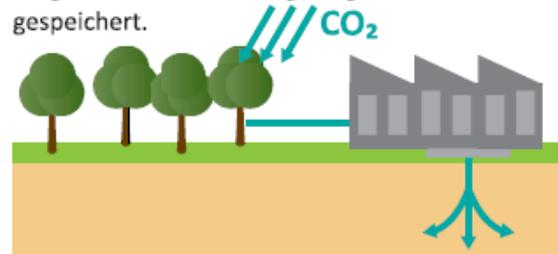
Biokohle
Teilverbrannte Biomasse wird dem Boden zugesetzt und absorbiert zusätzliches CO₂.



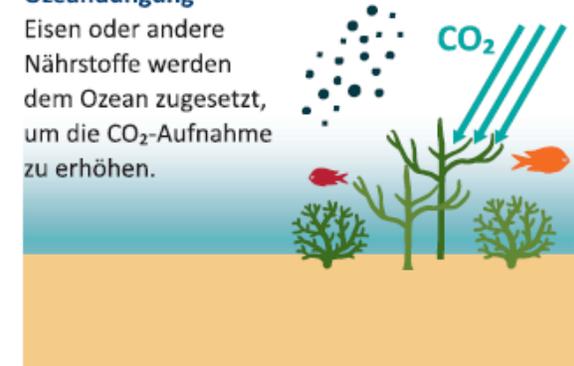
Luftfilter
CO₂ wird der Umgebungsluft durch chemische Stoffe entzogen und im Boden gespeichert.



Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Verpressung
Pflanzen wandeln CO₂ in Biomasse um, die als Energieträger genutzt wird. Das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ wird aufgefangen und im Boden gespeichert.



Ozeandüngung
Eisen oder andere Nährstoffe werden dem Ozean zugesetzt, um die CO₂-Aufnahme zu erhöhen.



Maßnahmen gegen den Klimawandel

4

Eine CO₂-Bepreisung wäre ein wirksames Mittel zur Reduzierung der Emissionen

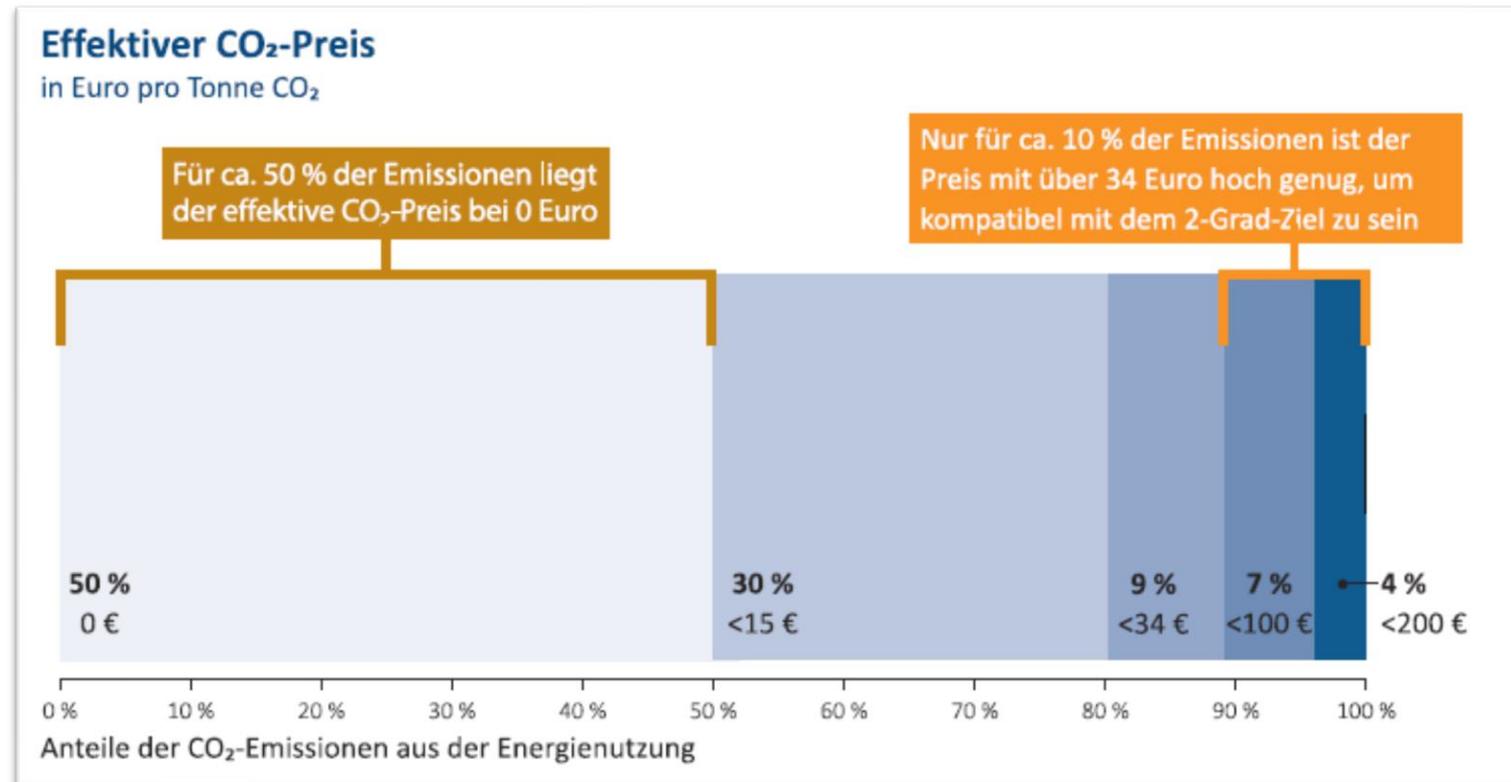
Ein CO₂-Preis schafft den Anreiz, Emissionen zu vermeiden, und zwar immer zunächst dort wo dies am kostengünstigsten möglich ist.

Allerdings funktioniert das nur, wenn der Preis hoch genug ist.

Für den überwältigenden Teil der Emissionen ist der Preis Null oder zu niedrig, um wirksame Anreize für die Emissionsminderung zu schaffen.

Für die Umsetzung bietet sich ein Emissionshandelssystem an, bei dem mit Zertifikaten gehandelt wird, die das Recht einräumen, eine begrenzte Menge an CO₂ in der Atmosphäre zu deponieren.

Alternativ käme auch eine Steuer auf CO₂-Emissionen in Frage.



Quelle: Nach UN Emissions Gap Report (2018). United Nations Environment Programme, Nairobi
(Die Daten beziehen sich auf 42 OECD- und G20-Länder, die für 80% der globalen Emissionen verantwortlich sind).

Maßnahmen gegen den Klimawandel

5

Bestehende Kohlenstoffsinken, wie Böden, Wälder und Ozean müssen gesichert werden

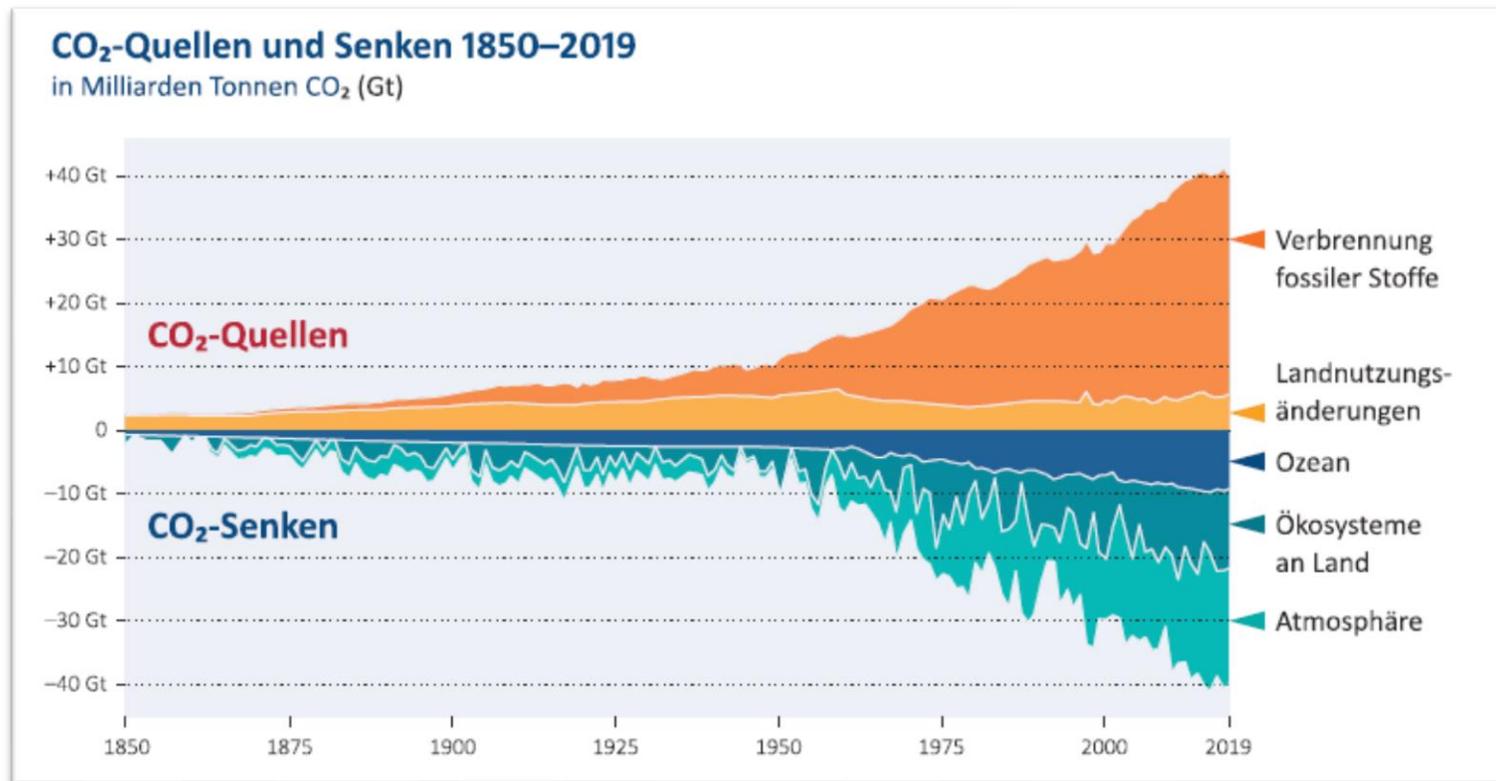
Nur ein Teil des Kohlendioxids verbleibt in der Atmosphäre. Auch der Ozean und Ökosysteme an Land (wie die Wälder) nehmen Kohlenstoffdioxid auf.

Ohne diese "Senken" würde der Klimawandel noch stärker ausfallen.

Es ist unsicher, wie lange Böden und Wälder noch weiter CO₂ aufnehmen können.

Es ist möglich, dass sich ab ca. 2050 der Effekt umkehrt und sie weiteres CO₂ ausstoßen statt es aufzunehmen, so dass sich die Erderwärmung weiter verstärkt.

Bei intensiver Nutzung verlieren Wälder und Böden ihre Speicherfunktion.



Quelle: Global Carbon Project 2020. Carbon Budget and Trends 2020

Maßnahmen gegen den Klimawandel

6

Die internationale Verteilung des verbleibenden Budgets ist eine politisch-ethische Frage

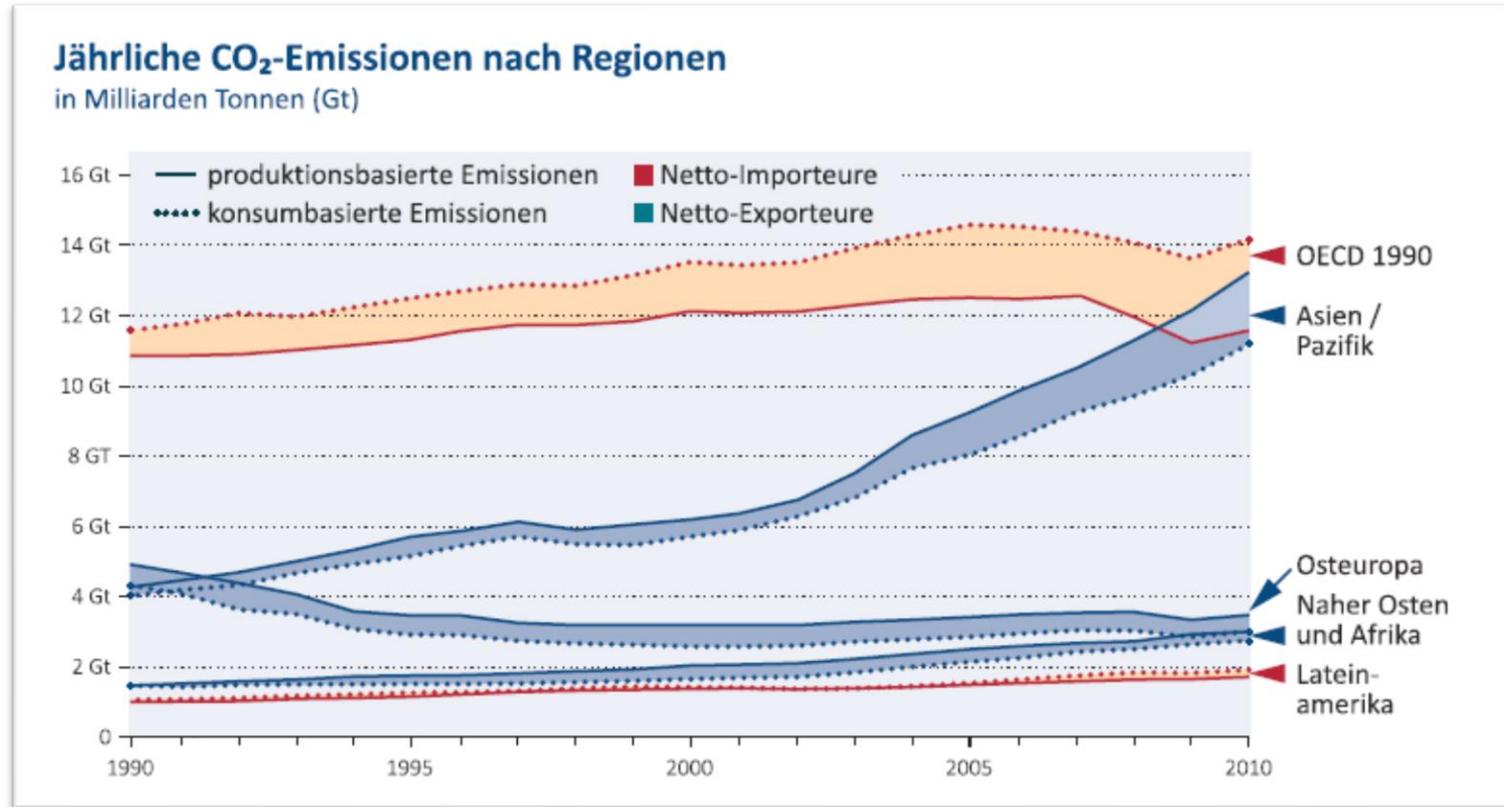
Die Emissionen, die auf die Produktion von Gütern entfallen, die in einem Land produziert werden, aber in einem anderen Land konsumiert werden, werfen Fragen der Verteilungsgerechtigkeit des verbleibenden CO₂-Budgets auf.

Während die Industrieländer schon seit langer Zeit hohe CO₂-Emissionen verursachen, haben die Emissionen in Asien in den letzten Jahren dramatisch zugenommen.

Die Lastenverteilung des Klimaschutzes ist eine wichtige politische und ethische Frage, die jedoch nicht allein mit dem Hinweis auf konsum- oder produktionsbasierte Emissionen entschieden werden kann.

Angesichts überproportional hoher Emissionen muss der Transformationsprozess schneller vorangetrieben werden mit dem Ziel Kohlenstoffneutralität noch deutlich früher zu erreichen als im Jahr 2050.

Es kommt darauf an, was wir jetzt und vor 2030 tun, und nicht für die Ziele für 2050



Edenhofer, O. & Jakob, M. – 2019. Klimapolitik. Ziele, Konflikte, Lösungen. C.H. Beck, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage.

Maßnahmen gegen den Klimawandel

7

Anpassungsmaßnahmen sollten die Schwächsten schützen

Anpassung ist lebensnotwendig, aber kein Ersatz für tiefgreifenden Klimaschutz

Anpassung sollte als parallele Strategie zur Abschwächung gesehen werden, um mit unvermeidbaren Auswirkungen und Risiken umzugehen

Sie ist kein Ersatz für tiefgreifenden Klimaschutz. Da es den meisten Menschen und der Natur nicht möglich ist, sich an die 3 bis 5°C Erwärmung in diesem Jahrhundert anzupassen

Es besteht die Gefahr der "Anpassungsfalle", bei der die meisten Anstrengungen zu Anpassung unternommen werden, während das Versagen beim angemessenen Klimaschutz zu einer "Treibhaus-Erde" führt

Eine der Krise angemessene Reaktion würde das Klima zur obersten Priorität von Politik und Wirtschaft machen



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)

Zusammenfassung

1

Wesentliche Auswirkungen

- 1,5°C werden vor 2030 erreicht, unabhängig von den in der Zwischenzeit ergriffenen Maßnahmen
- 2°C ist vor 2050 wahrscheinlich, selbst bei Maßnahmen, die über die derzeitigen Verpflichtungen aus dem Pariser Abkommen hinausgehen, 3°C in der frühen bis mittleren zweiten Hälfte des Jahrhunderts auf dem derzeitigen Emissionspfad und 5°C sind vor 2100 möglich
- Selbst erhebliche Emissionsminderungen werden aufgrund der ausgleichenden Wirkung von Aerosolen in den nächsten 20 bis 25 Jahren keinen signifikanten Einfluss auf den Trend der Erderwärmung haben
- Die Erderwärmung von 1,2°C (Stand 2019) ist bereits gefährlich, 2°C wären extrem gefährlich, 3°C katastrophal und bei 4°C wäre die Erde für die meisten Menschen unbewohnbar
- Ein "Treibhaus-Erde", also eine nichtlineare, irreversible, sich selbst erhaltende weitere Erwärmung kann zwischen 1,5 und 2°C ausgelöst werden.
- **ES BESTEHT DIE GEFAHR, DASS WIR BEREITS DIE CHANCE VERPASST HABEN, EINE BESCHLEUNIGTE ERDERWÄRMUNG ZU VERHINDERN.**

Quelle: Breakthrough – National Centre for Climate Restoration, Australien 2020. Klima-Realitätscheck 2020 (Zusammenfassung der aktuellen Klimaforschung aus der ganzen Welt)

Reaktionen und Maßnahmen

- Politik und Wirtschaft muss die Erkenntnisse der besten verfügbaren Wissenschaft akzeptieren und darauf aufbauend dieser Bedrohung durch die Klimakrise höchste Priorität einräumen
- Bewertung der tatsächlichen Risiken mit brutaler, unerbittlicher Ehrlichkeit
- Erkennen, dass Klimaveränderungen eine planvolle Krisenreaktion erfordern
- Schnelles Handeln für Null-Emissionen bis 2030
- Kapazitäten aufbauen, um Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu entfernen
- Verstehen, welche Rolle das Sonneneinstrahlungsmanagement spielen kann

Welche Schlüsse müssen für Kühlungsborn gezogen werden?



Welche Folgen der Klimawandel direkt und indirekt für Kühlungsborn hat, wird in Kürze an dieser Stelle erläutert



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY](#)



Foto: Helmut Maisel