

” Noch immer sind viele Details ungeklärt, wichtige Parameter nur grob bestimmt, ja, wesentliche Prozesse weitgehend unverstanden. Aber selbst im Halblicht 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,
Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung



Schauen Sie...

durch den seitlichen Schlitz in den Karton. Sie sehen die 1 m² große Kartoninnenfläche, die von einer Drei-Watt-Lampe bestrahlt wird. Die Lampe gibt so viel Energie ab, wie der durch den Menschen verursachte Treibhauseffekt im Mittel Tag und Nacht zusätzlich auf jeden Quadratmeter der Erdoberfläche gelangen lässt.

Ursachen für Klimaänderungen:

Der gegenwärtige und prinzipiell jeder Klimawandel ist Folge von Änderungen der Energiebilanz des Klimasystems. Dafür gibt es drei grundsätzliche Möglichkeiten:

- ▶ Die an der Atmosphärenobergrenze ankommende **Sonnenstrahlung** kann zu- oder abnehmen, wenn sich die Strahlungsintensität der Sonne oder die Erdumlaufbahn 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 menschlichen 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 Treibhausgas und Aerosole freisetzt und die Erdoberfläche durch Landnutzung verändert. Damit beeinflusst er die globale Energiebilanz. Deren Änderung drückt sich im **Strahlungsantrieb** in Watt pro m² aus. Der Strahlungsantrieb aufgrund der Emissionen der langlebigen Treibhausgas Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Halogenkohlenwasserstoffe beträgt für das Jahr 2011 im Vergleich zu 1750 etwa drei **Watt pro m²**. Der Anteil des CO₂ daran beträgt etwa 1,7 W/m², also etwas mehr als die Hälfte, der von Methan knapp 1 W/m² (Abb. 1).

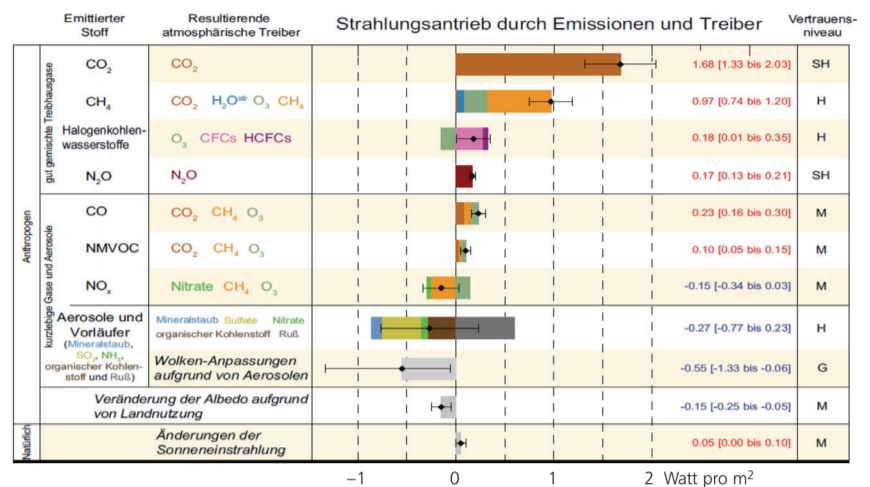


Abb. 1: Haupttreiber des Klimawandels. Dargestellt ist die Veränderung der Netto-Strahlungsantriebe im Jahr 2011 im Vergleich zu 1750 in Watt/m². Die besten Schätzungen sind als schwarze Raute mit den entsprechenden Unsicherheitsbereichen dargestellt; die Zahlenwerte sind auf der rechten Seite der Abbildung angegeben, zusammen mit dem Vertrauensniveau des Nettoantriebs (SH – sehr hoch, H – hoch, M – mittel, G – gering, SG – sehr gering).
Quelle: IPCC AR5WG1SP, S.12 http://www.de-ipccc.de/_media/IPCC_AR5_WG1_SPM_deutsch_WEB.pdf

Vernachlässigbar ist die **Abwärme**, die aus Millionen heißer Motoren, Öl- und Gasbrennern, Hochöfen und Kraftwerken entweicht, ihr Beitrag liegt bei 0,03 W/m².

Menschen sorgen auch für Emissionen von Sulfaten, organischem Kohlenstoff, Mineralstaub, Ammoniak und Ruß, so genannten **Aerosolen**. Diese stellen die **dominierende Unsicherheit im Strahlungsantrieb** dar. Unumstritten ist ihr **kühlender Effekt**. Von oben betrachtet erhöhen die meisten Aerosole die Helligkeit der Erde, mehr Sonnenlicht wird in den Weltraum zurückgestreut, die Erdoberfläche kühlt ab. Das Aerosol Ruß für sich alleine genommen wirkt allerdings stark erwärmend, sein Strahlungsantrieb entspricht einem Drittel des Strahlungsantriebs des CO₂. Aerosole führen als **Kondensationskeime** zu mehr Bewölkung. Diese reflektiert ebenfalls Sonnenstrahlen ins Weltall. Lufttrübung und Wolkenbildung durch Aerosole maskieren also einen Teil der globalen Erwärmung.

Ist es der Mensch oder doch die Sonne?

Aus den Daten des Weltklimarats IPCC ergibt sich: Der vom Menschen verursachte Beitrag zur Erderwärmung ist mindestens elf Mal (bester Schätzwert: 46 Mal) so groß wie der Beitrag der Sonne. In den Jahren von 1978 bis 2015, dem Zeitraum der bis dahin stärksten Erwärmung, hat die Sonne **nichts** zur Erwärmung beigetragen (Abb. 2).

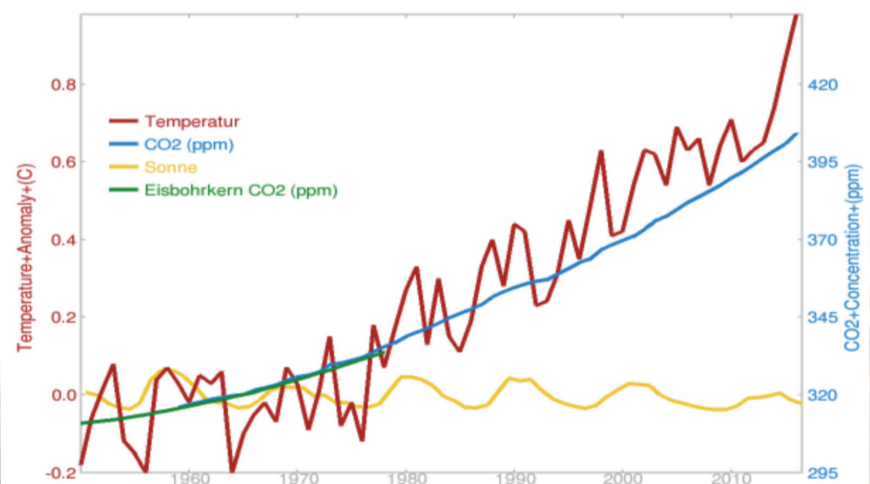


Abb. 2: Verlauf von globaler Temperatur, CO₂-Konzentration und Sonnenaktivität ab 1950 bis 2015.
http://scilogs.spektrum.de/kimalounge/files/berd_widget-1.png

Fazit:

Im Zeitraum von 1951 bis 2010 hat sich die Erde um etwa 0,6°C bis 0,7°C erwärmt. **Treibhausgase** (Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Halogenkohlenwasserstoffe) haben hierzu im Bereich von 0,5°C bis 1,3°C beigetragen, die **anderen von Menschen verursachten Faktoren** einschließlich der **Aerosole** haben eine Temperaturänderung im Bereich von -0,6°C bis +0,1°C bewirkt. Aerosole maskieren einen Teil der Erderwärmung. **Natürliche Antriebe**, etwa der Einfluss der Sonne, liegen zusammen im Bereich von -0,1°C bis +0,1°C.



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

Mojib Latif, Klimaforscher

“

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 Klima mit dem Zinken eines Würfels, der dadurch mehr Sechsen hervorbringt. Beim normalen 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, milde Winter, Dürren oder Überschwemmungen. Der Ausstoß von Treibhausgasen entspricht dem Zinken des Würfels, es gibt dadurch mehr Extremwetter, so, wie der gezinkte Würfel mehr Sechsen hervorbringt.

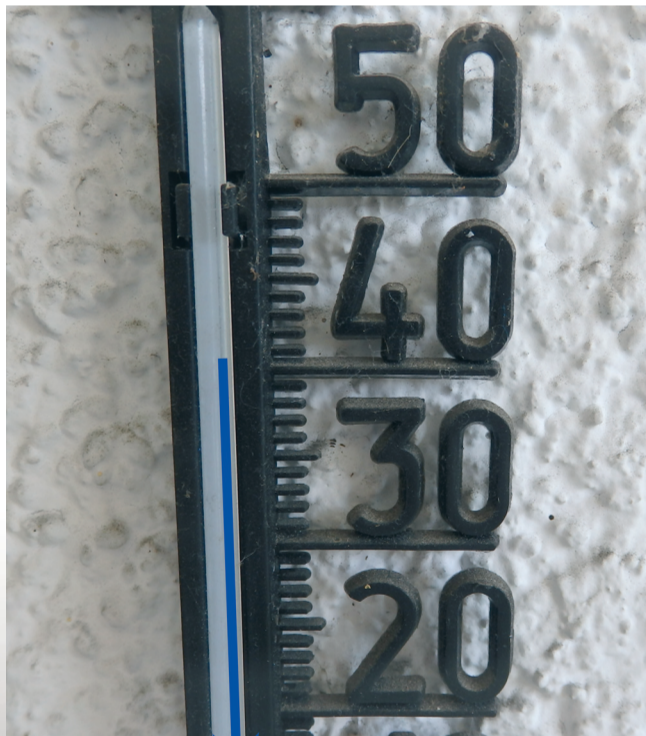


Abb. 1: Hitzewelle.
Foto: Bareis

Die Analogie zum gezinkten Würfel verdeutlicht, dass es prinzipiell nicht möglich ist, ein einzelnes Wetterextrem dem menschengemachten Treibhauseffekt zuzuschreiben, etwa die Elbeflut des Jahres 2002, den west- und mitteleuropäischen Jahrtausendsommer 2003 mit 70.000 vorzeitigen Sterbefällen (Abb. 3) oder den extrem heißen Juli 2011 in den amerikanischen Southern Plains mit verheerenden Schäden in der texanischen Landwirtschaft. 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.

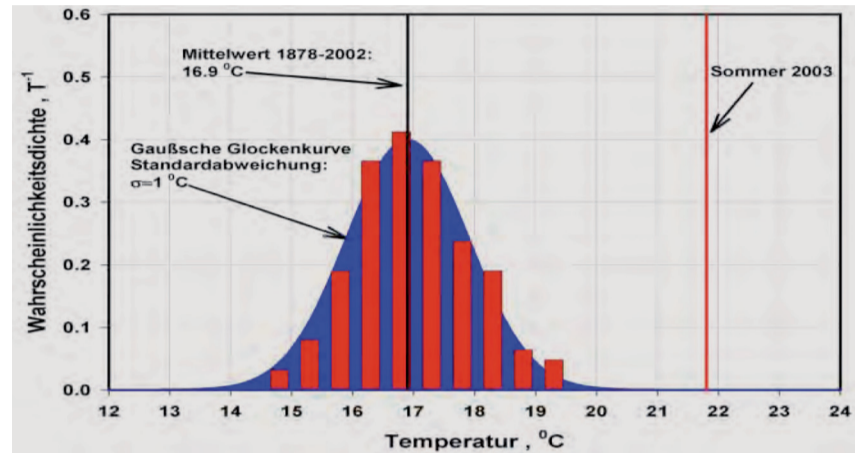


Abb. 2 Verteilung der Sommertemperaturen in Stuttgart-Hohenheim 1878 – 2003.

Klimaatlas der Region Stuttgart, S. 128.
https://www.region-stuttgart.org/index.php?ID=tx_navsecured&u=0&g=0&t=1792627109&hash=7100b3243cde1ea242ff12908037168ea9b653d38&file=lead_min/regionstuttgart/04_Informationen_und_Download/04_01_Veroeffentlichungen/04_04_04_Klimaatlas/klimaatlas_128-135_biolikima.pdf

Mehr Hitzerekorde

Im Zeitraum 2001 bis 2010 gab es weltweit fünfmal so viele Monatshitzerekorde wie man in einem Klima ohne globale Erwärmung erwarten würde. Von fünf Rekorde wäre also nur einer auch ohne den Klimawandel aufgetreten. Bei anhaltend hohem Ausstoß an Treibhausgasen könnte der west- und mitteleuropäische Jahrtausendsommer 2003 nach der Jahrhundertmitte sogar schon zum Normalzustand werden.

Fazit:

Ähnlich wie durch das Zinken die Wahrscheinlichkeit für eine Sechse beim Würfeln zunimmt, steigt durch das Mehr an Treibhausgasen in unserer Atmosphäre die Wahrscheinlichkeit für Wetterextreme. Ein einzelnes Extremwetterereignis lässt sich jedoch so wenig dem Klimawandel zuordnen wie eine einzelne gewürfelte Sechse dem Zinken eines Würfels.



Die durch zivilisatorische Anreicherung der atmosphärischen CO₂-Konzentration bis Ende des 21. Jahrhunderts provozierte Erwärmung wird bis weit über das Jahr 3000 hinaus nahezu ungeschwächt fortbestehen.

S. Solomon, Klimaforscher

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 mit unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung der Menschheit, z. B. der Bevölkerungszahl und der Wirtschaft, auf. Mit diesen Daten werden Klimamodelle angetrieben und die Entwicklung des Klimas bis 2100 untersucht. Generell gilt für Klimaprognosen bei gegebenen Emissionspfaden, dass globale Klimaberechnungen zuverlässiger als regionale sind, langfristige zuverlässiger als kurzfristige und Aussagen zur Temperatur zuverlässiger als solche zu Niederschlägen.

Die Klimaprojektionen

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

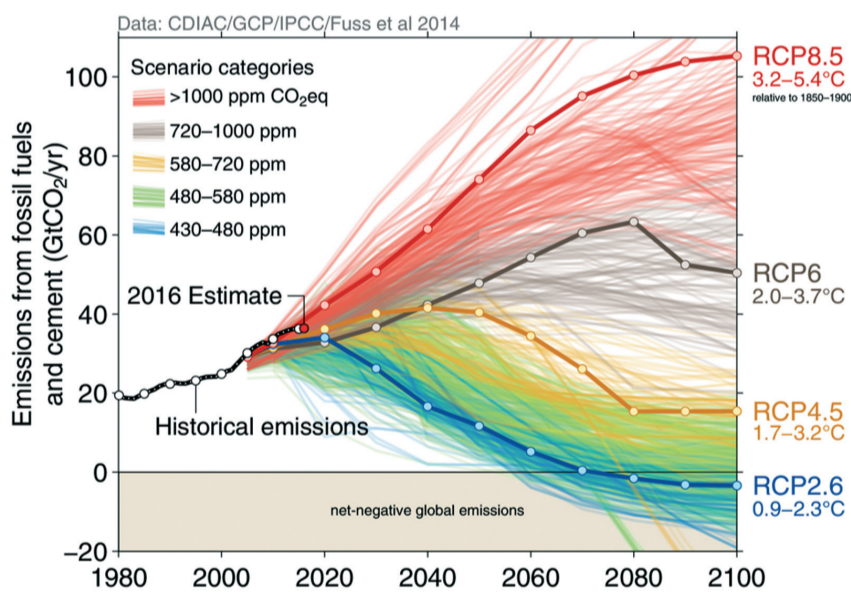
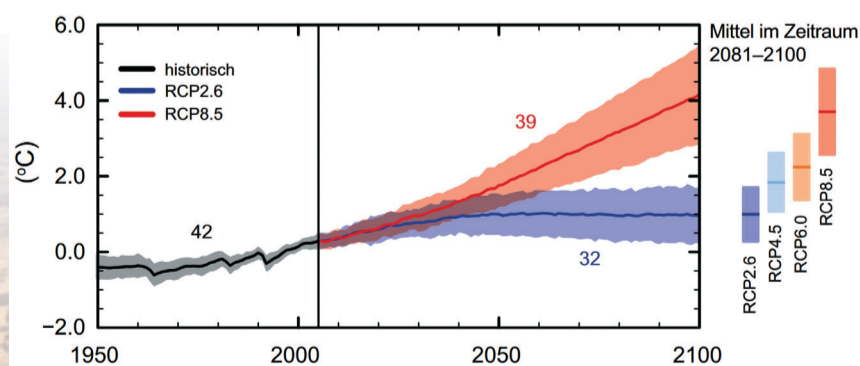


Abb. 1: Emissionsszenarien des Weltklimarats IPCC. (vgl. grauer Kasten rechts). Auf der y-Achse sind die jährlichen CO₂-Emissionen in Mrd. t (ohne Landnutzungsänderungen) angegeben. <http://www.globalkarbonproject.org/carbonbudget/16/presentation.htm>



Die beste Schätzung für das anspruchsvolle Klimaschutz-Szenario RCP2.6 ist eine Erwärmung im Zeitraum 2081 bis 2100 um 1,6°C gegenüber dem Zeitraum 1850 bis 1900. Der wahrscheinliche Bereich liegt dabei zwischen 0,9°C und 2,3°C. Damit kommt dieses Szenario den Klimabeschlüssen von Paris am nächsten, wonach die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst sogar auf 1,5°C zu beschränken ist. Die beste Schätzung für das Szenario RCP8.5 mit weiter stark steigenden Treibhausgasemissionen ist eine Erwärmung um 4,3°C im selben Zeitraum mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 3,2°C bis 5,4°C. Die Kontinente und besonders die Arktis erwärmen sich stets am stärksten, jedoch abhängig vom Szenario in unterschiedlichem Ausmaß (Abb. 3).

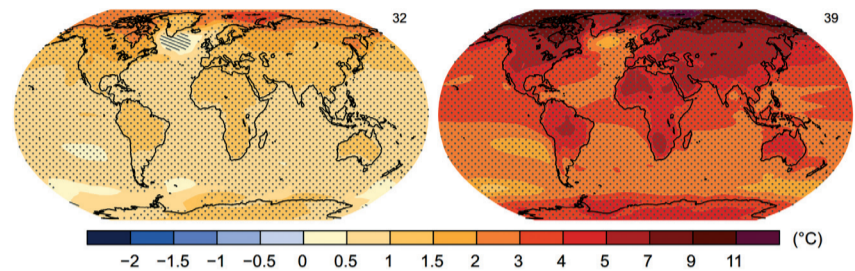


Abb. 3: Karte der Erwärmung für die Jahre 2081–2100 im Vergleich zu 1886–2005, beruhend auf dem Mittel von je über 30 Klimamodellen für das Klimaschuttszenario RCP2.6 (links) und das »Weiter so wie bisher«-Szenario RCP8.5 (rechts). Punktiert sind Regionen, in denen die Erwärmung im Vergleich zu den internen Schwankungen groß ist und wo mindestens 90% der Modelle mit dem Vorzeichen der Änderung übereinstimmen. http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC_AR5_WGI_SPM_deutsch_WEB.pdf IPCC AR5 WGI SPM Abb SPM.8, S. 19.

Der Temperaturanstieg verläuft außergewöhnlich schnell

Ohne Klimaschutz droht eine drastische Erderwärmung. Die Temperatur könnte im Laufe des 21. Jahrhunderts im globalen Mittel um bis zu 5°C ansteigen. Dies entspricht in etwa dem gesamten Temperaturanstieg nach der letzten Eiszeit, der sich in einem Zeitraum von 5000 Jahren vollzog. Der gegenwärtige Klimawandel verläuft also je nach Klimapolitik bis zu 50 Mal schneller. Geschwindigkeit und Ausmaß der Klimaänderung könnten sich heftig auf die Natur und den Menschen auswirken, bis hin zum Aussterben zahlreicher Arten, dem verbreiteten Mangel an Trinkwasser und Nahrungsmitteln und dem Zusammenbruch von Wirtschaften und Staaten. Man kann das mit einer Ameise am Boden einer Sanduhr vergleichen, die verschüttet wird, wenn zu viel Sand auf einmal auf sie niedergeht.

Die Szenarien des IPCC

Für den fünften Sachstandsbericht (AR5) des Weltklimarats IPCC wurden vier Repräsentative Konzentrationspfade (RCP) definiert. Die Ziffern in der Bezeichnung der Szenarien geben die Änderung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 im Vergleich zum Jahr 1750 an, im Szenario RCP2.6 liegt diese bei 2,6 W/m².

Im Szenario RCP2.6 erreichen die Treibhausgasemissionen schon vor 2020 ihr Maximum. Im Jahr 2050 liegen diese um 14% bis 96% unter den Emissionen des Jahres 1990, was einen teilweisen oder vollständigen Ausstieg aus der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas bis zur Jahrhundertmitte bedeutet. Zum Ende des 21. Jahrhunderts wird z. T. mit negativen Emissionen gerechnet: Die Menschen entfernen dann mehr CO₂ aus der Atmosphäre als sie ihr neues hinzufügen. Dies ist technisch in begrenztem Umfang machbar, indem man z. B. Biomasse zur Energiegewinnung nutzt und das dabei entstehende CO₂ abfängt und unterirdisch lagert. Im Jahr 2100 soll die CO₂-Konzentration bei 421 ppm liegen. Zum Vergleich: Im Jahr 2015 hatten wir 400 ppm, pro Jahr kommen derzeit im Mittel 2 ppm hinzu.

Im Szenario RCP8.5 wird hingegen Jahr für Jahr mehr CO₂ emittiert, im Jahr 2100 etwa dreimal so viel wie heute.

Fazit:

In den letzten beiden Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts wird es im globalen Mittel abhängig vom Erfolg von Klimaschutzanstrengungen voraussichtlich 0,9 bis 5,4 °C wärmer sein als zu Beginn der Industrialisierung. Die Erwärmung könnte ein Ausmaß wie im Übergang von der Eiszeit zur Warmzeit erreichen, würde aber bis zu fünfzigmal schneller ablaufen, was mit hohen Risiken für Menschen, Gesellschaften und Ökosystemen verbunden wäre.



„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, Klimaforscher

Ein Blick zurück

Im Zuge des Klimawandels hat sich das Klima in Deutschland bereits spürbar verändert.

Im Zeitraum von 1881 bis 2014 ist es etwa 1,3°C wärmer geworden. Die zehn wärmsten Jahre lagen mit einer Ausnahme alle nach 1988. Die Anzahl der Hitzetage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30°C ist, über ganz Deutschland gemittelt, seit den 1950er-Jahren von etwa drei Tagen im Jahr auf derzeit durchschnittlich neun Tage im Jahr angestiegen. Die mittlere Anzahl der Eistage mit einer Höchsttemperatur unter 0°C hat dagegen von 28 Tagen auf 19 Tage abgenommen.

Die Niederschlagsmengen haben von 1881 bis 2014 im Jahresmittel um ein Zehntel, im Winter sogar um ein Viertel zugenommen, für den Sommer zeichnet sich kein Trend ab (Abb. 1). In vielen Regionen haben Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen im hydrologischen Winterhalbjahr (November–April) zugenommen.

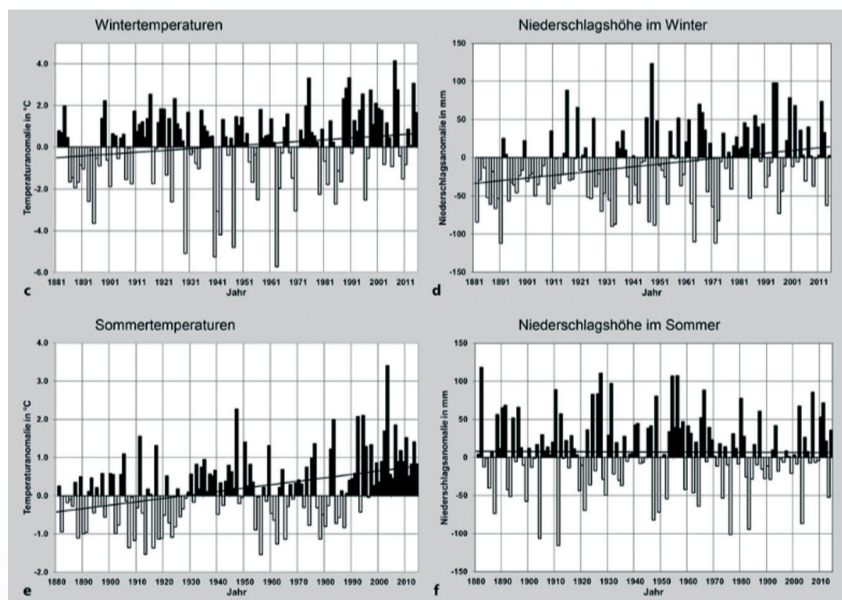


Abb. 1: Trends der Temperatur und Niederschlagshöhe in Deutschland von 1881 bis 2014 jeweils als Abweichung vom Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990.

- c Wintertemperaturen: Der lineare Trend beträgt 1,1°C innerhalb von 134 Jahren.
 d Niederschlagshöhe im Winter: Der lineare Trend über die Gesamtzeit beträgt 47 mm.
 e Sommertemperaturen in Deutschland: Der lineare Trend beträgt 1,2°C innerhalb von 134 Jahren.
 f Niederschlagshöhe im Sommer: Es besteht kein statistisch signifikanter linearer Trend. Der Sommer bezieht sich jeweils auf Juni bis August, der Winter auf Dezember bis Februar.

Aus: Frank Kaspar, Hermann Mächel: Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland in: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob, Susanne Schuck-Zöllner (Hg.): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. (Open access), Berlin, Heidelberg 2017, S. 22, verändert.

Blick in die Zukunft

Für Deutschland zeigen die Klimaszenarien für alle Jahreszeiten eine deutliche Temperaturzunahme und jahreszeitenabhängig z. T. uneinheitliche Tendenzen bei den Niederschlägen (Abb. 2). Zum Jahrhundertende ergibt sich für das »Weiter-wie-bisher«-Szenario RCP8.5 gegenüber den Jahren von 1971 bis 2000 ein Anstieg der Temperatur um etwa drei bis fünf Grad, im ambitionierten Klimaschutzszenario RCP2.6 um nur etwa ein Grad.

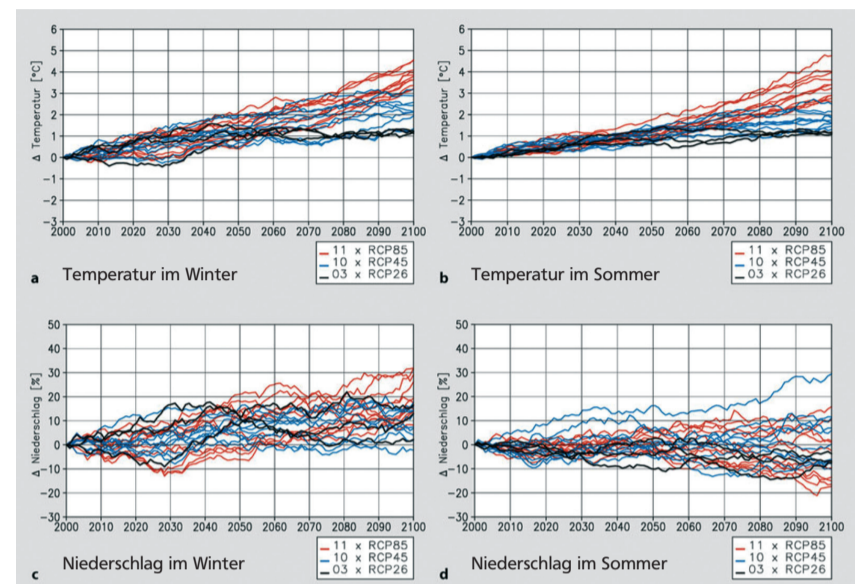


Abb. 2: Projizierter Klimawandel für Deutschland: Änderungen der bodennahen Lufttemperatur im Winter (a) und im Sommer (b) sowie relative Abweichungen der Niederschlagsmenge im Winter (c) und im Sommer (d). Vergleichszeitraum: 1971–2000 (als gleitendes 30-Jahres-Mittel, abgebildet jeweils auf das 30. Jahr). Es wurden Simulationen auf Basis des »Weiter-wie-bisher«-Szenario RCP8.5 (rot), von RCP4.5 (blau) und des strikten Klimaschutzszenario RCP2.6 (schwarz) verwendet.

Aus: Daniela Jacob, Christoph Kottmeier, Juliane Petersen, Diana Reichid, Claas Teichmann: Regionale Klimamodellierung. In: Guy Brasseur, Daniela Jacob, Susanne Schuck-Zöllner (Hg.): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. (Open access), Berlin, Heidelberg 2017, S.33.

Beim Ausgehen erfreut man sich an Tropennächten, an denen die Temperatur nicht unter 20°C sinkt. Fehlende nächtliche Abkühlung kann jedoch zu gesundheitlichen Problemen bis hin zum Tod führen. Die Probleme spitzen sich in Großstädten mit ihren gegenüber dem Umland höheren Temperaturen zu. Beim Szenario RCP8.5 ist bis 2100 in manchen Regionen mit über 20 zusätzlichen Tropennächten zu rechnen. Anzahl und Dauer von Hitzewellen werden weiter zunehmen, besonders in Süddeutschland (Station 19).

Bei den Niederschlägen zeichnet sich für das Ende des Jahrhunderts im Winter bei RCP8.5 eine Niederschlagszunahme um ein Zehntel bis ein Drittel ab. Für den Sommer lassen sich für Deutschland, das im Übergangsbereich von abnehmenden Sommerniederschlägen in Südwesteuropa und zunehmenden in Nordeuropa liegt, keine robusten Aussagen machen.

Fazit:

Positive und negative Auswirkungen des Klimawandels werden alle Menschen in Deutschland betreffen. Viele werden den früher einsetzenden Frühling und wärmere Tage im Herbst begrüßen. Mehr Hitzewellen und Tropennächte können jedoch zu deutlich mehr Krankheits- und Todesfällen führen. Zu den vom Klimawandel besonders Betroffenen zählen Menschen in Hochwassergebieten, Betreiber von Kohlekraftwerken und Schiffskapitäne (denen im Sommer das Wasser im Kühlturm bzw. unterm Kiel knapp werden könnte), Skiliftbetreiber, Förster (denen wohl im Tiefland ihr »Brotbaum« Fichte wegsterben wird), Landwirte und Winzer (die mit besseren Weinen rechnen dürfen). In einer globalisierten Welt können Menschen auch vom Klimawandel in anderen, stärker heimgesuchten Regionen indirekt betroffen sein, z. B. durch Lieferengpässe nach Unwettern, durch Hilfszahlungen bei vermehrt auftretenden Wetterkatastrophen oder durch Aufnahme von Klimaflüchtlings. Das Klima, das wir bekommen werden, wird nicht allen Menschen bekommen.





Solche Naturgewalten sind nicht beherrschbar.

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



Hochwasser

Wenn Flüsse nach Starkregen über die Ufer treten, überschwemmen sie manchmal weite Landstriche. Beim **Jahrhundert-Elbehochwasser 2004** entstanden Schäden von über neun Milliarden Euro (Abb. 1 und 2). Mit 353 mm wurde in Zinnwald-Georgenfeld im Erzgebirge die **höchste je in Deutschland über 24 Stunden gemessene Niederschlagsmenge** verzeichnet, und der Pegel der Elbe erreichte in Dresden mit 9,4 m den höchsten Stand seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1275. Doch schon in den Jahren 2006 und 2013 kam es an der Elbe **erneut zu Jahrhundertfluten**, bei denen vielerorts sogar die Pegelstände von 2002 überschritten worden sind.



Abb. 1: Elbehochwasser

http://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/download_report_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Creative Commons)



Abb. 2: Satellitenbilder der Elbe zwischen Torgau und Aken

am 14. August 2002 und 20. August 2002 (während der Elbeflut). Quelle: NASA.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/NASA_Elbe_flood_2002_before_after.jpg

Wenn bei Gewittern **kleinräumig enorme Niederschlagsmengen** fallen, entstehen Sturzfluten, wie Ende Mai 2016 in Braunsbach in Baden-Württemberg. Dem Klimawandel zuordnen lassen sich jedoch keine einzelnen Extremereignisse, sondern deren **Häufung und mehr Niederschlagsrekorde** (Station 7).

Starkregen und Hochwasser können die Infrastruktur, z. B. Straßen, zerstören und zu hohen Schäden führen (Abb. 3 bis 5).



Abb. 3: Zerstörte Brücke nach einem Starkregen in den Alpen.

Foto: Bareis



Abb. 4: Schlammablagerung nach einer meterhohen Flut in den Alpen.

Foto: Bareis



Abb. 5: Murgang in den Alpen:

Nach Starkregen setzt sich durchnässter Untergrund talwärts in Bewegung.
Foto: Bareis

Dürren

Bleiben Niederschläge aus, sorgt das oft für noch größere Probleme. Der Klimawandel spielt dabei eine Doppelrolle: Die **höheren Temperaturen lassen mehr Wasser verdunsten** und damit die **Böden austrocknen**. Und die **schon heute trockeneren Regionen erhalten tendenziell noch weniger Niederschläge**. Wassermangel und Missernten können folgen (Abb. 6). 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.

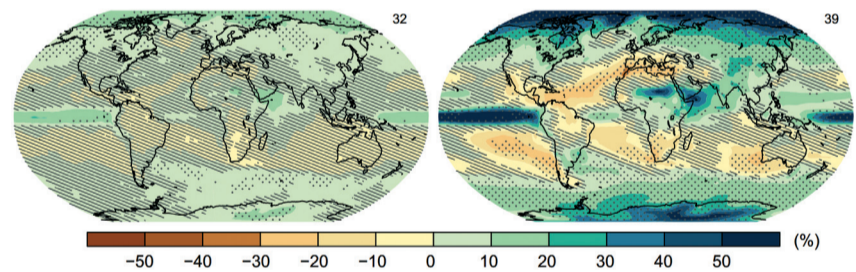


Abb. 6: Prozentuale Änderung des mittleren Niederschlags (2081 – 2100 bezogen auf 1986 – 2005) für ein Klimaszenario mit Klimaschutz (RCP 2.6, links) und eines mit ungebremstem Klimawandel (RCP 8.5, rechts). Punktiert sind Regionen, in denen die Niederschlagsänderung im Vergleich zu den natürlichen Schwankungen groß ist und wo die meisten Klimamodelle im Vorzeichen der Änderung übereinstimmen. Schraffiert sind Regionen, in denen die Niederschlagsänderungen im Vergleich zu den natürlichen Schwankungen weniger ins Gewicht fallen.

http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC_AR5_WG1_SPM_deutsch_WEB.pdf S. 20

Fazit: die Aussichten des Weltklimarats IPCC

Der Klimawandel lässt die feuchteren Regionen feuchter und die trockeneren Regionen trockener werden: »Extreme Niederschlagsereignisse werden über den meisten Landmassen der mittleren Breiten und über feuchten tropischen Regionen bis Ende dieses Jahrhunderts sehr wahrscheinlich intensiver und häufiger. ... Hoch ist das Vertrauen in die Aussage, dass die Böden im Mittelmeerraum, dem Südwesten der USA und in den Regionen im südlichen Afrika bei ungeminderter Treibhausgasemission gegen Ende des 21. Jahrhunderts austrocknen werden.« Das sind keine guten Perspektiven für die dort lebenden Menschen.



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

Hans Joachim Schellnhuber,
Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung



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. Hierbei wird die Verdunstungsenergie als Kondensationswärme wieder freigesetzt, sie kann Stürme anheizen. Die globale Erwärmung führt nachweislich zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre (Station 4) und liefert damit mehr Treibstoff für Stürme. Steigt die Geschwindigkeit von Stürmen, nehmen Zerstörungskraft und Schäden überproportional zu. Eine Faustregel besagt: Wenn die Windgeschwindigkeit um sieben Prozent ansteigt, erhöht sich das Zerstörungspotenzial um 50%. Tropische Wirbelstürme entstehen nur über großen Wasserflächen, da dort die Reibung niedriger als über Land ist und nur, wenn die Oberflächen-temperatur bei über 26°C liegt, denn erst dann steht genügend Wasserdampf als Hurrikan-Treibstoff zur Verfügung.

Sandy: Ein Wirbelsturm betreibt New York

Der Hurrikan Sandy bildete sich im karibischen Meer (Abb. 1). In Haiti sorgte er innerhalb von 24 Stunden für fast 700 mm Regen, was der durchschnittlichen Jahresmenge von Stuttgart entspricht. Am 30. Oktober 2012 traf Sandy mit anhaltenden Windgeschwindigkeiten von etwa 150 km/h in New Jersey auf das Festland (Abb. 2). Der Pegel an der Südspitze Manhattans zeigte einen neuen Höchststand. In New York und Umgebung brach für Millionen Menschen zum Teil für Wochen die Stromversorgung zusammen. Mindestens 285 Menschen kamen durch die Auswirkungen des Sturms ums Leben. Die materiellen Schäden werden allein für die USA mit 71 Milliarden US-Dollar angegeben. Nur beim Hurrikan Katrina, der im Jahr 2005 einen Großteil New Orleans zerstört hatte, waren die Schäden noch höher. Es zeigt sich, dass auch entwickelte Länder gegenüber Naturgewalten wie tropischen Wirbelstürmen sehr verwundbar sind.

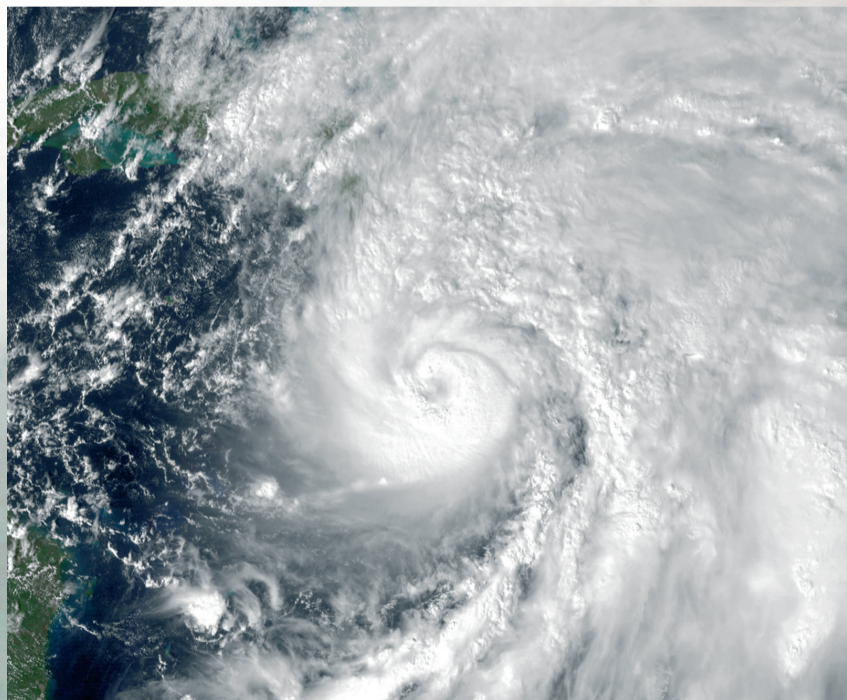


Abb. 1: Hurrikan Sandy am 24.10.2012.

Quelle: NOAA/ NRL Monterey Marine Meteorology Division. https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan_Sandy#/media/File:Sandy_Oct_24_2012_1845Z.png



Abb. 2: Beschädigte und überflutete Häuser an der Atlantikküste von New Jersey/USA

Quelle: U.S. Air Force.
https://de.wikipedia.org/wiki/Hurrikan_Sandy#/media/File:121030-F-AL508-081c_Aerial_views_during_an_Army_search_and_rescue_mission_show_damage_from_Hurricane_Sandy_to_the_New_Jersey_coast,_Oct_30_2012.jpg

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. Auch bisher nicht vom Klimawandel betroffene Regionen werden durch den Klimawandel zunehmend bedroht. Erstmals trat 2004 ein Hurrikan im Südatlantik auf, genau in einer Ozeanregion, für die Klimaforscher mittels Simulationsrechnungen das Auftreten solcher Hurrikane infolge des menschengemachten Treibhauseffekts prognostiziert hatten. In den letzten Jahrzehnten hat es vermehrt starke tropische Wirbelstürme gegeben.

Fazit:

Wasserdampf ist Treibstoff für Stürme. Die Erderwärmung lässt den Wasserdampfgehalt in der Luft ansteigen und wird voraussichtlich zu heftigeren, möglicherweise auch zu mehr tropischen Wirbelstürmen führen. Das Mehr an Wasserdampf und der Meeresspiegelanstieg verschlimmern zudem das Ausmaß von Starkregen und Sturmfluten im Zusammenhang mit tropischen Wirbelstürmen. Wenn die Windgeschwindigkeit nur um sieben Prozent ansteigt, erhöht sich das Zerstörungspotenzial um 50%. Generell sind Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Anzahl und Stärke von Stürmen jedoch wenig sicher.

