

# Eine Welt mit 4 °C Erwärmung – wie sähe sie aus?

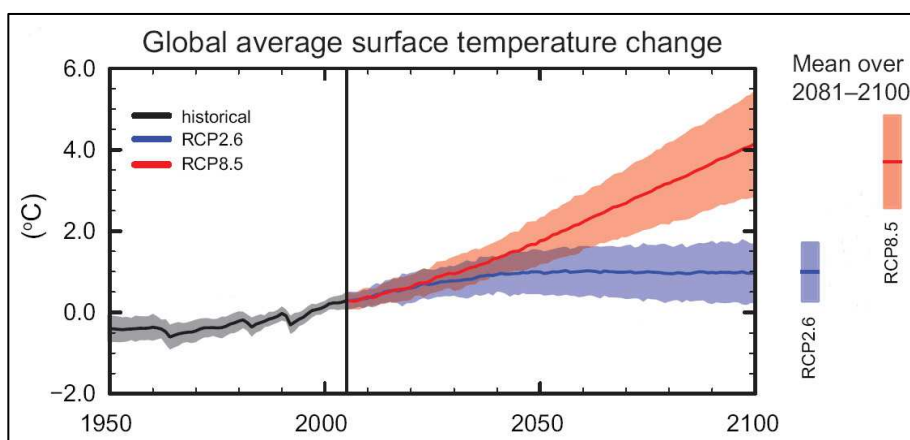
Ergebnisse aus dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC<sup>1</sup>

Auf dem UN-Klimagipfel von Cancún 2010 beschlossen die Teilnehmerstaaten, die Erderwärmung solle auf einen durchschnittlichen Temperaturanstieg von zwei Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden. Schon dieses Niveau brächte signifikante Klimaänderungen. Doch wenn die weltweite Entwicklung des Treibhausgas-Ausstoßes weitergeht wie bisher, so der IPCC in seinem Fünften Sachstandsbericht 2013/1014, steuert die Welt auf eine Erderwärmung um sogar vier Grad Celsius zu. Was würde das für Mensch und Natur bedeuten?

## Wie wahrscheinlich ist eine 4-Grad-Welt? Und was unterscheidet sie von dem, was wir kennen?

Seit die Menschheit im Zuge der Industriellen Revolution in großem Stile damit begann, fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas zu verbrennen, ist der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre deutlich gestiegen: von einem vorindustriellen Wert um 280 ppm (*parts per million*, zu deutsch: Teile pro Million) auf aktuell etwa 400 ppm.<sup>2</sup> Auch der Gehalt anderer Treibhausgase wie Methan nahm zu. Entsprechend stieg die durchschnittliche Erdtemperatur: zwischen 1880 und 2012 um etwa 0,85 Grad Celsius.

In seinem Fünften Sachstandsbericht hat der IPCC vier Szenarien einer künftigen Entwicklung der Emissionen und damit auch der Erderwärmung entwickelt. Eines der Szenarien mit dem Namen „RCP8.5“ skizziert, was passieren würde, **wenn die Welt auf Klimaschutz verzichten würde, der Ausstoß von Treibhausgasen also ungebremst weiter stiege**. Bis Ende des Jahrhunderts würde die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre auf mehr als 930 ppm zunehmen, die Temperatur gegenüber heutigem Niveau nochmals um durchschnittlich etwa 2,6 bis 4,8 Grad Celsius steigen. Verglichen mit vorindustriellem Niveau entspräche das einer **Erderwärmung von rund 3,5 bis 5,7 Grad**. Da sich Landmassen stärker erwärmen als Ozeane, würde die Temperaturzunahme (bei regional sehr unterschiedlicher Ausprägung) auf den Kontinenten noch höher sein. Auf etwa 13 Prozent der Landmassen werden bei einem solchen Szenario höhere Durchschnittstemperaturen erwartet als heute irgendwo auf der Erde herrschen. Bei einer Erwärmung um vier Grad wäre die Erde **wärmer als während** der vergangenen 18.000 Jahre – also **der gesamten jüngeren Menschheitsgeschichte**.<sup>3</sup>



Änderung der Erdmitteltemperatur relativ zum Zeitraum 1986-2005: blau verzeichnet ist die durchschnittliche Entwicklung im Szenario RCP2.6, in dem sich die Welt zu konsequentem Klimaschutz entschließt; rot jene im Szenario RCP8.5 mit ungebremsten Treibhausgas-Emissionen; blassblau bzw. blassrot dargestellt sind die Schwankungsbreiten verschiedener Simulationen.  
Quelle: IPCC 2013 (WG1 SPM, S. 21)

## Was wären die Folgen einer Erderwärmung um rund 4 °C bis zum Jahr 2100?

An zahlreichen Stellen im Fünften Sachstandsbericht finden sich Aussagen darüber, was ein Anstieg der Erdmitteltemperatur um vier Grad Celsius oder gar mehr für Natur und Mensch bedeuten würde.

Grundsätzlich warnt der IPCC: „**Einige Risiken des Klimawandels sind bereits bei einer Erwärmung um ein bis zwei Grad über vorindustriellem Niveau beträchtlich – bei einem Anstieg um vier Grad aber sind die weltweiten Klimawandelrisiken hoch bis sehr hoch.**“ (WG1 SPM, S. 14) Konkret nennen die Wissenschaftler unter anderem folgende Auswirkungen:

### **Häufigere Hitzewellen**

Eine der Konsequenzen des Klimawandels, über deren Eintreten große Sicherheit besteht, ist die Zunahme von Temperaturextremen: Bereits bei einer Erderwärmung um zwei Grad Celsius wird es deutlich mehr heiße Tage geben, Hitzewellen werden häufiger auftreten und länger andauern. In einer Vier-Grad-Welt verschärft sich diese Entwicklung noch. Ein Hitzeextrem, das derzeit einmal in zwanzig Jahren auftritt, wird dann mindestens alle zehn Jahre stattfinden, in manchen Regionen sogar alle ein bis zwei Jahre. Rund ums Mittelmeer werden in einer Vier-Grad-Welt vermutlich alle Sommermonate wärmer sein als die heftigsten Hitzewellen von heute.<sup>4</sup> (WG1 SPM, S. 20; WG1 TS, Box TFE.9)

### **Mehr Dürren und Fluten**

Die weltweite Wasserverteilung wird sich bei vier Grad Erderwärmung drastisch verschieben. Ohnehin trockene Regionen werden noch trockener, besonders dürrgefährdet sind das südliche Afrika, der Südwesten der USA und die Mittelmeer-Region. Auf der Hälfte der Erdoberfläche wird laut Modellrechnungen die Häufigkeit von Fluten zunehmen, auf etwa einem Drittel hingegen sinken. Während die Flusssysteme des Nil und Ganges in einer Vier-Grad-Welt von jährlich doppelt so viel Wasser durchflossen werden wie heute, sinken die Wassermengen etwa an Donau, Mississippi und Amazonas um bis zu 75 Prozent. Allein in Europa würden (bei gleichbleibender Bevölkerungszahl und ohne Anpassungsmaßnahmen wie neue Deiche) zusätzlich 250.000 bis 400.000 Menschen von Überschwemmungen durch Flüsse bedroht sein, die ökonomischen Schäden sich im Vergleich zu den 1970er Jahren verdoppeln. Noch stärker wären die Folgen an den europäischen Küsten: Dort wären 850.000 bis 5,5 Millionen Menschen zusätzlich von Fluten bedroht. (WG1 TS, Box TFE.9; Kap.19, S. 26)

### **Verlust von Ökosystemen**

Der Klimawandel ist nur ein Faktor unter vielen, durch die der Mensch die weltweite Artenvielfalt bedroht – doch bei einer Erwärmung um vier Grad Celsius oder mehr ist das Risiko hoch, etliche weltweit einmalige und wertvolle Ökosysteme mit „außergewöhnlicher Biodiversität“ zu verlieren.<sup>5</sup> Damit würden auch die Dienstleistungen verschwinden, die solche gesunden Ökosysteme für die Menschheit erbringen, beispielsweise die Bereitstellung von Nahrungsmitteln, von sauberem Wasser und sauberer Luft, aber auch die Nutzbarkeit für den Tourismus. (TS, S. 19f.)

### **Hungersnöte drohen**

Bei einer starken Erderwärmung von vier Grad überwiegen die negativen Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft etwaige positive Folgen bei weitem. Der Anteil der weltweiten Ackerflächen, die hierdurch stark von Dürren bedroht wären, stieg von heute 15 Prozent auf 44 Prozent (+/-6) im Jahr 2100. Allein auf der Nordhalbkugel wäre ein Fünftel mehr Wasser für künstliche Bewässerung nötig. Vor allem in tropischen Ländern werden bei starker Erderwärmung deutlich sinkende Ernteerträge erwartet, Forscher beziffern zum Beispiel für das Afrika südlich der Sahara die Einbußen auf 19 Prozent bei Mais und 68 Prozent bei Bohnen. Eine andere Studie ergab selbst für Finnland, das bei moderater Erwärmung in Hinblick auf die landwirtschaftliche Produktion noch profitieren würde, in einer Vier-Grad-Welt Ernteverluste von 20 Prozent. (Kap.7, S. 3+23; Kap.19, S. 25f.)

### **Gesundheitsrisiken für den Menschen**

Schon eine Erwärmung um zwei Grad vergrößert die Gesundheitsgefahren für Menschen. Zum Beispiel nehmen Infektionskrankheiten zu. Bei einer globalen Erwärmung um vier Grad Celsius jedoch wären

die Effekte nicht nur doppelt so stark, sondern ungleich schwerwiegender. Viele Risiken, etwa die Sterberate bei Hitzewellen, nehmen nicht linear zu, sondern steigen sprunghaft beim Erreichen bestimmter Schwellenwerte. In einer Vier-Grad-Welt wären jedenfalls einzelne Weltgegenden um durchschnittlich sieben Grad wärmer – mit zeitweise noch höheren Temperaturspitzen. Normale menschliche Tätigkeiten, etwa Arbeiten auf dem Feld oder generell das Arbeiten unter freiem Himmel, wären in einigen Regionen und zu bestimmten Jahreszeiten überhaupt nicht mehr möglich. Bei einer starken Erderwärmung wären viel mehr Menschen als heute auf funktionierende Klimaanlage in Gebäuden angewiesen. (Kap.11, S. 29-31)

### ***Wachsende Unsicherheit und wirtschaftliche Verluste***

Der Klimawandel erhöht indirekt das Risiko gewaltsamer Konflikte, weil er deren Auslöser (z.B. Armut, Ressourcenknappheit) verstärkt – diese allgemeine Feststellung des IPCC gilt für einen stärkeren Klimawandel umso mehr. In einer Vier-Grad-Welt würde es zudem mehr Klimaflüchtlinge geben – vor allem aber hätten zahlreiche Menschen nicht mehr (wie beispielsweise noch bei zwei Grad Erwärmung), die Wahl zwischen Anpassung an das veränderte Klima oder Flucht. Klimaökonomische Gewinn-Verlust-Rechnungen sind in der Fachwelt umstritten und für starke Temperaturanstiege mit sehr vielen Unsicherheiten behaftet. Eine Studie, die der IPCC zitiert, untersuchte die Folgen einer Erderwärmung um knapp vier Grad auf die Leistungsfähigkeit von Arbeitern: Während der heißesten Monate des Jahres werde die Arbeitsproduktivität um 40 Prozent sinken, so das Ergebnis, besonders betroffen seien Indien, Nordaustralien oder der Südwesten der USA. (SPM, S. 20; Kap.11, S. 30)

### ***Verschiebung von Lebensräumen, sterbende Wälder***

Die Erderwärmung verschiebt die Verbreitungsgebiete von Tier- und Pflanzenarten – je stärker die Erwärmung ausfällt, desto schneller und weiter. Bei einer Erwärmung um vier Grad müssten zum Beispiel an Land die Arten durchschnittlich rund 70 Kilometer pro Jahrzehnt wandern. Allerdings sind etliche von ihnen zu einem solchen Tempo nicht fähig und würden ihre Lebensräume verlieren. Zu den am langsamsten wandernden Arten gehören Bäume, weshalb in einer Vier-Grad-Welt damit zu rechnen ist, dass großflächig Wälder absterben. (Kap.4, S. 28; SPM S. 16)

### ***Tier- und Pflanzenarten auf der Kippe***

Im Vierten Sachstandsbericht von 2007 hieß es noch, bei einer Erwärmung um zwei bis drei Grad Celsius steige für 20 bis 30 Prozent der Tier- und Pflanzenarten das Risiko auszusterben. Die meisten seitdem erschienenen Studien haben die Risiken grundsätzlich bestätigt. Dennoch macht der Fünfte Sachstandsbericht keine prozentualen Angaben mehr über den Anteil bedrohter Arten, weil zu viele Faktoren eine Rolle spielen, die nur schwer in Berechnungsmodelle zu integrieren sind. Stattdessen spricht der IPCC nun davon, ein „großer Teil“ der Arten sei bedroht. Die Schätzungen in der Fachliteratur reichen von unter einem Prozent bis zu mehr als 50 Prozent. Sicher ist, dass die Bedrohung für die weltweite Artenvielfalt ein großes Risiko darstellt – und umso größer wird, je stärker der Klimawandel ausfällt. Eine aktuelle Studie spricht beispielsweise in Bezug auf Vögel und Amphibien davon, bei einer Erwärmung um 3,5 bis 4 Grad seien 20 bis 60 Prozent der Arten „hochgradig verwundbar“. Besonders betroffen wären etwa die Amazonasregion, Zentral-Eurasien, Indonesien oder der nordöstliche Teil Nordamerikas.<sup>6</sup> (SPM, S. 15; Kap.4, S. 31)

### ***Absterben von Korallenriffen***

Für die Ozeane ist der steigende CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre ebenso bedrohlich wie die damit zusammenhängende Erwärmung. Die Aufnahme und Lösung von Kohlendioxid im Wasser lässt den pH-Wert sinken und damit die Ozeane versauern. Seit Beginn der Industrialisierung ist der pH-Wert bereits von 8,2 auf 8,1 gesunken, in einer 4 °C-Welt läge er Ende dieses Jahrhunderts bei nur noch 7,8 bis 7,7. Die Folge: ein „weiträumiges Korallensterben“. (Box CC.OA; TS, S. 19)

## **Schwächerer Golfstrom, eisfreie Arktis**

Mit einer stärkeren Erderwärmung steigt auch das Risiko, dass sogenannte Kipppunkte (englisch: „tipping points“) überschritten werden, bei denen es zu unumkehrbaren und weitreichenden Änderungen im Klimasystem kommt. Hierzu zählt beispielsweise die Freisetzung großer Mengen Methan aus tauenden Permafrostböden – da Methan selbst ein Treibhausgas ist, würde der Klimawandel hierdurch noch weiter beschleunigt. Wo genau die Temperaturschwelle für solche Ereignisse ist, kann die Forschung noch nicht genau sagen. Beispielsweise liegt der Punkt, ab dem ein jahrhundertlanges Abschmelzen des grönländischen Festlandeises beginnt, wahrscheinlich irgendwo zwischen einem und vier Grad Erderwärmung (es gibt Indizien, dass der Kipppunkt für diesen Prozess bereits überschritten wurde). Als Konsequenz würden die Meeresspiegel langfristig um bis zu sieben Meter steigen. In einer Vier-Grad-Welt dürften sich die großräumigen Umwälzströmungen im Atlantik (englisch: „Atlantic Meridional Overturning Circulation“, kurz: AMOC) bis Ende des Jahrhunderts um rund ein Drittel ab – ein Teil dieses Zirkulationssystems ist der Golfstrom, der Nordeuropa mit Wärme versorgt. Der Nordpol wäre bei einer Erderwärmung um etwa vier Grad schon Mitte des Jahrhunderts im Sommer eisfrei. (TS, S. 18f.; WG1 TS Box, TFE.5)

Stand: April 2014

### **Zum Weiterlesen:**

In einem ausführlichen Report mit dem Titel „Turn down the Heat“ hat die Weltbank 2013 detailliert dargestellt, wie eine Vier-Grad-Welt aussehen würde. Der englischsprachige Report und eine deutsche Zusammenfassung zum Herunterladen: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11860>

---

<sup>1</sup> Im folgenden Text ist jeweils kursiv und in Klammern angegeben, aus welchen Passagen des Fünften Sachstandsberichts des IPCC die zugrundeliegenden Informationen stammen. (Einzelne Erkenntnisse, die nicht aus dem IPCC-Report stammen, sind explizit mit einer Fußnote gekennzeichnet, in der dann auch die Quelle für diese Einzelaussage vermerkt ist.)

Sofern nicht näher angegeben, beziehen sich alle Klammerangaben auf die Publikationen der Arbeitsgruppe 2 (WG2) des IPCC – diese stehen hier zum Herunterladen bereit: <http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/final-drafts/>  
Die Abkürzungen bei den Quellenangaben bedeuten: SPM = Summary for Policymakers, TS = Technical Summary, Kap.x = Kapitel x des Teilbandes der Arbeitsgruppe 2;

Box CC.OA = Textkasten „Ocean Acidification“ im Cross-Chapter Box Compendium – hier zum Herunterladen: [http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5-CCbox-Compendium\\_FGD.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5-CCbox-Compendium_FGD.pdf) ;

WG 1 = Arbeitsgruppe 1 – deren Beiträge zum Fünften Sachstandsbericht stehen hier zum Herunterladen bereit: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

<sup>2</sup> Tagesaktuelle Werte veröffentlicht die US-Ozean- und Atmosphärenbehörde (NOAA) im Internet unter: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html>

<sup>3</sup> vgl.: New et al. 2009 – <http://www.nature.com/climate/2009/0912/full/climate.2009.126.html>

<sup>4</sup> vgl.: Der 4-Grad-Bericht. Weltbank 2012. (Deutsche Zusammenfassung), S. 5 – [https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11860/Turn\\_Down\\_the\\_Heat\\_German.pdf?sequence=5](https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11860/Turn_Down_the_Heat_German.pdf?sequence=5)

<sup>5</sup> vgl.: Beaumont et al. 2010 – <http://www.pnas.org/content/108/6/2306.short>

<sup>6</sup> vgl.: Foden et al. 2013 – <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0065427>