

Der 4^o Bericht

Warum eine vier Grad wärmere Welt verhindert werden muss



Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Der 4°-Bericht

Warum eine vier Grad wärmere Welt verhindert werden muss

November 2012

Ein Bericht für die Weltbank
Erstellt vom Potsdam-Institut
für Klimafolgenforschung und
von Climate Analytics



© 2012 by International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank
Internet: www.worldbank.org

Der 4°C-Bericht: Warum eine vier Grad wärmere Welt verhindert werden muss.

© 2013 by International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank
(Internationale Bank für Wiederaufbau und Entwicklung/Die Weltbank)

Dieser Bericht wurde ursprünglich in englischer Sprache unter dem Titel „*Turn Down the Heat: Why a 4 °C Warmer World Must Be Avoided*“ von der Weltbank veröffentlicht. Die vorliegende deutsche Übersetzung wurde vom deutschen Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) vorgenommen. Das BMZ zeichnet verantwortlich für die Qualität der Übersetzung. Bei inhaltlichen Abweichungen ist die ursprüngliche Sprachversion maßgeblich.

This work was originally published by The World Bank in English as Turn Down the Heat; Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided Executive Summary in 2012. This German translation was arranged by the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. The German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development is responsible for the quality of the translation. In case of any discrepancies, the original language will govern.

Deutsche Übersetzung/*German translation*
Sybille Frey, Stockelsdorf bei Lübeck

Mitwirkung an der deutschen Fassung/*Contributions to the German translation*
Daniel Blank, Annette Lutz, Gerhard Rappold, Susanne Schwan, Inga Zachow, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Die Ergebnisse, Interpretationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht entsprechen nicht zwangsläufig die Ansichten der Weltbank, ihres Exekutivdirektoriums oder der in ihr vertretenen Regierungen.

Die Weltbank übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der Daten in diesem Bericht. Grenzverläufe, Farbgebungen, Benennungen und sonstige Informationen, die in den kartographischen Darstellungen dieses Berichts abgebildet sind, implizieren keine Stellungnahme der Weltbank zum völkerrechtlichen Status eines Territoriums oder eine Billigung oder Anerkennung solcher Grenzen.

Rechte und Genehmigungen

Das in diesem Bericht bereitgestellte Material ist urheberrechtlich geschützt. Da die Weltbank die Verbreitung ihres Wissens befürwortet, ist es gestattet, den Bericht komplett oder auszugsweise für nicht gewerbliche Zwecke zu vervielfältigen, sofern diese Quelle vollständig benannt wird.

Alle Anfragen zu Rechten und Lizenzen inklusive Nebenrechten sind zu richten an das Office of the Publisher, The World Bank, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; Fax: + 1 202-522-2422; E-Mail: pubrights@worldbank.org.

Danksagung

Der 4°-Bericht *Warum eine vier Grad wärmere Welt verhindert werden muss* ist das Ergebnis einer Vielzahl von Beiträgen von Fachleuten aus aller Welt. Wir danken allen, die zu seiner Themenvielfalt und interdisziplinären Perspektive beigetragen haben.

Der Bericht wurde von einem Team des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und von Climate Analytics verfasst, unter ihnen Hans Joachim Schellnhuber, William Hare, Olivia Serdeczny, Sophie Adams, Dim Coumou, Katja Frieler, Maria Martin, Ilona M. Otto, Mahé Perrette, Alexander Robinson, Marcia Rocha, Michiel Schaeffer, Jacob Schewe, Xiaoxi Wang und Lila Warszawski.

In Auftrag gegeben wurde er vom „Global Expert Team for Climate Change Adaptation“ der Weltbank unter der Leitung von Erick C. M. Fernandes und Kanta Kumari Rigaud, das eng mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Climate Analytics zusammengearbeitet hat. Jane Olga Ebinger koordinierte das Weltbank-Team, und Rosina Bierbaum von der University of Michigan und Michael MacCracken vom Climate Institute in Washington D. C. steuerten viele wertvolle Einblicke bei.

Wissenschaftliche Gutachter gaben aufschlussreiche Kommentare zu dem Bericht ab. Wir danken Ulisses Confalonieri, Andrew D. Friend, Dieter Gerten, Saleemul Huq, Pavel Kabat, Thomas Karl, Akio Kitoh, Reto Knutti, Anthony J. McMichael, Jonathan T. Overpeck, Martin Parry, Barrie Pittock und John Stone.

Wertvolle Orientierungshilfe und Einordnungen leisteten Mary Barton-Dock, Fiona Douglas, Marianne Fay und Rachel Kyte.

Für ihren Beitrag danken wir den Weltbank-Kolleginnen und -Kollegen: Sameer Akbar, Keiko Ashida, Ferid Belhaj, Rachid Benmessaoud, Bonizella Biagini, Anthony Bigio, Ademola Braimoh, Haleh Bridi, Penelope Brook, Ana Bucher, Julia Bucknall, Jacob Burke, Raffaello Cervigni, Laurence Clarke, Françoise Clottes, Annette Dixon, Philippe Dongier, Milen Dyoulgerov, Luis Garcia, Habiba Gitay, Susan Goldmark, Ellen Goldstein, Gloria Grandolini, Stephane Hallegatte, Valerie Hickey, Daniel Hoornweg, Stefan Koeberle, Motoo Konishi, Victoria Kwakwa, Marcus Lee, Marie Françoise Marie-Nelly, Meleesa McNaughton, Robin Mearns, Nancy Chaarani Meza, Alan Miller, Klaus Rohland, Onno Ruhl, Michal Rutkowski, Klas Sander, Hartwig Schafer, Patrick Verkooijen Dorte Verner, Deborah Wetzel, Ulrich Zachau und Johannes Zutt.

Wir danken Robert Bisset und Sonu Jain, die uns Kontakte zu Partnern, der wissenschaftlichen Gemeinschaft und den Medien vermittelt haben. Tobias Baedeker, Perpetual Boateng und Patricia Braxton unterstützten das Team auf vielfältige Weise.

Unser Dank gilt auch dem Programm *Connect4Climate*, das an der Produktion des Berichts mitgewirkt hat.

Vorwort

Ich hoffe, dieser Bericht rüttelt uns auf, sodass wir endlich handeln. Auch diejenigen unter uns, die sich schon heute für die Bekämpfung des Klimawandels einsetzen, werden sich, so meine Hoffnung, mit noch mehr Nachdruck engagieren.

Dieser Bericht schildert, wie die Erde aussähe, wenn sie sich um vier Grad Celsius erwärmen würde – ein Szenario, das fast alle Wissenschaftler für das Ende dieses Jahrhunderts prognostizieren, wenn kein durchgreifender politischer Wandel stattfindet.

Die 4°C-Szenarien sind verheerend: überflutete Küstenstädte; ein erhöhtes Risiko, dass die Nahrungsmittelproduktion zurückgeht und Unterernährungsraten steigen; viele trockene Gebiete werden noch trockener, feuchte Regionen feuchter; noch nie dagewesene Hitzewellen in vielen Regionen, vor allem in den Tropen; vielerorts verschärfte Wasserknappheit; immer häufiger auftretende schwere tropische Wirbelstürme und ein irreversibler Verlust der Artenvielfalt, zum Beispiel von Korallenriff-Ökosystemen.

Vor allem aber unterscheidet sich eine „Vier-Grad-Welt“ so stark von unserer heutigen, dass sie große Unsicherheit und neue Risiken mit sich bringt, die es uns erschweren, den künftigen Anpassungsbedarf abzuschätzen und zu planen.

Untätigkeit angesichts des Klimawandels bringt nicht nur die Gefahr mit sich, dass Wohlstand für Millionen Menschen in Entwicklungsländern unerreichbar wird, sondern droht auch die nachhaltige Entwicklung um Jahrzehnte zurückzuwerfen.

Ohne Frage wissen wir schon sehr viel über die Bedrohung, mit der wir es zu tun haben. Die Wissenschaft ist sich einig: Die Erderwärmung ist von Menschen verursacht und tiefgreifende Veränderungen sind bereits heute erkennbar: Die mittlere globale Erwärmung liegt 0,8°C über dem vorindustriellen Niveau. Die Temperatur der Meere ist seit den 1950er Jahren um 0,09°C gestiegen und ihre Versauerung schreitet voran. Der Meeresspiegel ist im Vergleich zum vorindustriellen Niveau um ca. 20 cm gestiegen, und er steigt weiter um 3,2 cm pro Jahrzehnt. In den vergangenen zehn Jahren gab es ungewöhnlich viele extreme Hitzewellen. Immer mehr wichtige Anbaugelände für Nahrungspflanzen werden von Dürren heimgesucht.

Obwohl die Weltgemeinschaft viel guten Willen beweist, die Erderwärmung auf maximal 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, wird die Überschreitung dieses Grenzwertes immer wahrscheinlicher. Wissenschaftler sind sich einig, dass es angesichts der aktuellen Reduktionsverpflichtungen und -zusagen der Länder im Kontext der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sehr wahrscheinlich zu einem Temperaturanstieg von 3,5 bis 4°C kommen wird. Und je länger diese Verpflichtungen und Zusagen nicht eingehalten werden, desto wahrscheinlicher wird eine „Vier-Grad-Welt“.

Die Arbeit der Weltbankgruppe ist bestimmt von Daten und Fakten. Wissenschaftliche Berichte, darunter die des Weltklimarates (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen, IPCC), gaben den Anstoß, unsere Arbeit in diesem Bereich zu intensivieren. Die Ergebnisse waren ein Weltentwicklungsbericht zum Thema „Entwicklung und Klimawandel“, der unser Wissen über die Auswirkungen der Erderwärmung

vertiefen soll, ein strategischer Rahmen für Entwicklung und Klimawandel und ein Bericht, der sich mit „Inclusive Green Growth“ befasst. Die Weltbank ist einer der führenden Verfechter von ehrgeizigen Maßnahmen gegen den Klimawandel – nicht nur aus moralischer Verantwortung heraus, sondern weil diese wirtschaftlich sinnvoll sind.

Doch was geschieht, wenn es nicht gelingt, unsere Reduktionsanstrengungen zu steigern? Was bedeutet eine Vier-Grad-Welt? Der beim Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Climate Analytics in Auftrag gegebene Bericht soll uns helfen, den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis und die möglichen Auswirkungen auf Entwicklung in einer solchen Welt besser zu verstehen.

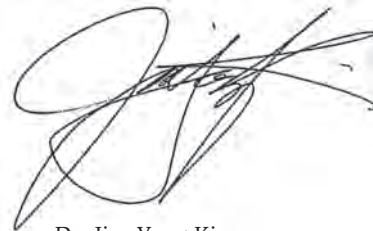
Diese Welt würde sich so dramatisch von unserer heutigen unterscheiden, dass sie nur schwer genau zu beschreiben ist. Vieles hängt von komplexen Projektionen ab und ist Auslegungssache.

Wir sind uns durchaus bewusst, dass diese Szenarien mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind, und wissen, dass einige Wissenschaftler und Studien den Grad der Gefährdung anders einschätzen. Doch allein die Tatsache, dass derartige Szenarien nicht von der Hand zu weisen sind, ist Grund genug, die aktuellen Klimaschutzbemühungen zu verstärken. Für die Gesundheit und das Wohlergehen von Gemeinschaften überall auf der Welt ist es von entscheidender Bedeutung, dass Wege gefunden werden, eine Vier-Grad-Welt zu verhindern. Alle Regionen der Welt werden betroffen sein, doch am schwersten würde es die Armen und Verwundbarsten treffen.

Eine vier Grad wärmere Welt kann und muss verhindert werden.

Die Weltbankgruppe wird sich auch in Zukunft für internationale und regionale Vereinbarungen sowie für eine Erhöhung der Klimafinanzierung einsetzen. Wir werden unsere Anstrengungen verdoppeln, um die stark zunehmenden nationalen Initiativen zur Senkung des Kohlendioxid-Ausstoßes und den Aufbau von Anpassungskapazitäten zu unterstützen sowie integratives Green Growth („grünes Wachstum“) und „klima-intelligente“ Entwicklung zu fördern. Unsere Arbeit zu integrativem grünen Wachstum hat gezeigt, dass höhere Effizienz und ein umsichtigerer Umgang mit Energie- und natürlichen Ressourcen viele Chancen bieten, die Auswirkungen von Entwicklung auf das Klima erheblich zu reduzieren, ohne das Tempo von Armutsbekämpfung und wirtschaftlichem Aufschwung zu drosseln.

Dieser Bericht ist eine ernst zu nehmende Mahnung, dass die Auswirkungen des Klimawandels allgegenwärtig sind. Die Lösung des Problems liegt nicht allein in Klimafinanzierung und Klimaprojekten. Lösungen liegen vielmehr in einem wirksamen Risikomanagement und der Ausrichtung unserer gesamten planerischen und praktischen Arbeit auf die Bedrohung, die eine Vier-Grad-Welt für uns darstellt. Dieser Herausforderung wird sich die Weltbankgruppe stellen.



Dr. Jim Yong Kim
Präsident der Weltbankgruppe

The image features a close-up, top-down view of a tree trunk's cross-section, showing concentric growth rings in shades of light to medium brown. A dark, semi-transparent circular shape is overlaid on the left side of the image, partially obscuring the wood grain. The text 'Zusammenfassung' is written in white, sans-serif font, oriented vertically within this dark circle.

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Dieser Bericht ist eine Momentaufnahme der jüngsten wissenschaftlichen Publikationen und Analysen zu den Folgen und Risiken, die mit einem Temperaturanstieg um 4°C noch in diesem Jahrhundert voraussichtlich verbunden wären. Er ist der entschlossene Versuch, eine Reihe von Risiken zu umreißen, denen insbesondere Entwicklungsländer und vor allem die Armen ausgesetzt sind. Eine Vier-Grad-Welt wäre gekennzeichnet von nie dagewesenen Hitzewellen, Dürreperioden und Überschwemmungen in vielen Regionen, die einschneidende Folgen für Ökosysteme und ihre Leistungen hätten. Nichtsdestotrotz: Eine Vier-Grad-Welt lässt sich verhindern und die Erwärmung wahrscheinlich auf unter 2°C begrenzen, wenn wir handeln.

Ohne zusätzliche Verpflichtungen und Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen wird sich das Erdklima gegenüber vorindustriellen Verhältnissen wahrscheinlich um mehr als 3°C erwärmen. Selbst bei Einhaltung aller aktuellen Minderungsverpflichtungen und Zusagen besteht eine ca. 20-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass 4°C bis zum Jahr 2100 überschritten werden. Werden die Minderungsverpflichtungen nicht eingehalten, könnten die 4°C bereits in den 2060er Jahren erreicht sein. Doch eine derartige Erwärmung mit entsprechendem Meeresspiegelanstieg um mindestens 0,5 bis 1 m bis zum Jahr 2100 wäre nicht der Endpunkt: In den darauffolgenden Jahrhunderten würde sich der Temperaturanstieg auf mehr als 6°C erhöhen und der Meeresspiegelanstieg würde voraussichtlich mehrere Meter betragen.

Das heißt: Die Weltgemeinschaft hat sich zwar verpflichtet, die Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen, um einen „gefährlichen“ Klimawandel zu verhindern; die kleinen Inselstaaten unter den Entwicklungsländern (SIDS) und die am wenigsten entwickelten Länder (LDC) haben eine globale Erwärmung um 1,5°C als Obergrenze bezeichnet, deren Überschreitung ihre Entwicklung und in einigen Fällen ihr Überleben ernsthaft gefährden würde. Dennoch werden alle politischen Programme und Maßnahmen zusammen – laufende wie zugesagte – mit hoher Wahrscheinlichkeit einen noch weitaus stärkeren Temperaturanstieg nicht verhindern können. Tatsächlich ist die Annahme plausibel, dass sich die Welt mit den aktuellen Emissionstrends auf eine Erwärmung um 4°C noch in diesem Jahrhundert zu bewegt.

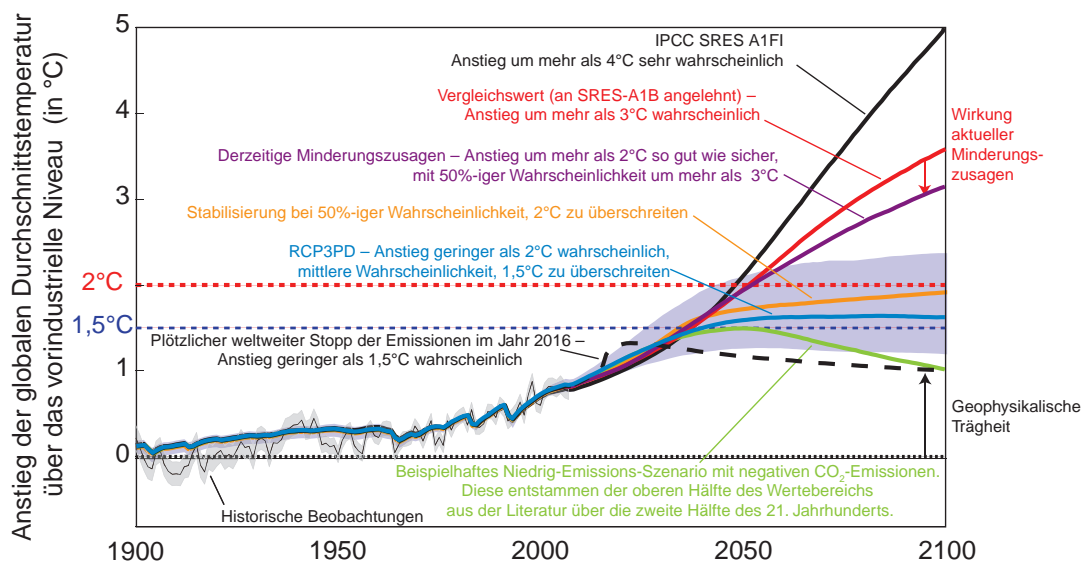
Dieser Bericht stellt keine umfassende wissenschaftliche Bewertung dar, wie sie der Weltklimarat (IPCC) in seinem fünften Sachstandsbericht vornimmt, der 2013/2014 erscheinen wird. Er konzentriert sich auf Entwicklungsländer, ohne zu vernachlässigen, dass auch entwickelte Länder Gefahr laufen, schwere klimawandelbedingte Schäden zu erleiden. Einige Extremereignisse der jüngeren Zeit werfen ein Schlaglicht auf die weltweit fortbestehende Risikoanfälligkeit nicht nur der Entwicklungsländer, sondern auch der wohlhabenden Industrieländer.

Projektionen zum Ausmaß des Klimawandels und seiner Folgen sind immer noch mit Unsicherheiten verbunden. Wir verfolgen einen risikoorientierten Ansatz, der ‚Risiko‘ als Produkt aus Wirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit definiert. Das heißt: Auch ein Ereignis mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit kann ein hohes Risiko beinhalten, wenn es ernste Konsequenzen impliziert.

Keine Nation ist immun gegen die Folgen des Klimawandels. Ihre Verteilung jedoch wird wahrscheinlich ungleich und zu Ungunsten vieler der ärmsten Regionen der Welt ausfallen, die die geringsten wirtschaftlichen, institutionellen, wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten haben, die Folgen durch Anpassung zu bewältigen. Einige Beispiele:

- Die absolute Erwärmung wird in den höheren Breitengraden am stärksten ausfallen. Die Erwärmung in den Tropen wird jedoch höher sein, wenn man sie mit dem historischen Spektrum von Temperaturen und Extremereignissen vergleicht, die menschliche und natürliche Ökosysteme bisher verkraftet und an die sie sich angepasst haben. Daher werden die vorhergesagten

Abbildung 1: Linien: geschätzte Mittelwerte aus probabilistischen Temperaturprojektionen für zwei Emissionsszenarien ohne Minderungsmaßnahmen (schwarze Linie: SRES A1FI; rote Linie: Vergleichsszenario, das sich an SRES A1B anlehnt). Beide erreichen für das Jahr 2100 annähernd die 4°C-Marke bzw. überschreiten sie erheblich. Die Ergebnisse dieser beiden Emissionsszenarien werden mit weiteren Szenarien verglichen, in denen a) die derzeitigen Minderungszusagen eingehalten werden (violette Linie) bzw. b) die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von ≥ 50 Prozent auf 2°C oder weniger begrenzt wird (orangefarbene, blaue und grüne Linie). Ein hypothetisches Szenario, in dem die globalen Emissionen im Jahr 2016 völlig gestoppt werden, ist ebenfalls dargestellt (gestrichelte schwarze Linie); es dient als Vergleichsszenario zur Gegenüberstellung von Entwicklungspfaden, die technisch und wirtschaftlich realisierbar sind. Der starke Temperaturanstieg direkt nach dem Stopp der Emissionen im Jahr 2016 wird durch den Wegfall des Beschattungseffekts der Sulfat-Aerosole hervorgerufen. Um die Lesbarkeit der Grafik zu gewährleisten, ist nur für ein Szenario die 95%-ige Unsicherheitspanne (schattierter Bereich) als farblich unterlegtes Band angegeben. Zu den Szenarien und Modellierungsmethoden siehe Rogelj et al., 2010; Hare et al., 2011; Schaeffer et al., 2012.



beispiellos hohen Temperaturextreme in den Tropen signifikant stärkere Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die Ökosysteme haben.

- Der Meeresspiegelanstieg wird in den Tropen voraussichtlich 15 bis 20 Prozent höher ausfallen als im weltweiten Mittel.
- Die steigende Intensität tropischer Wirbelstürme wird in Äquatornähe wahrscheinlich überproportional spürbar werden.
- In vielen Gegenden von Entwicklungsländern in den Tropen und Subtropen ist eine erhebliche Zunahme von Trockenheit und Dürren zu erwarten.

Eine im Vergleich zum vorindustriellen Niveau um 4°C wärmere Welt (im Folgenden ‚Vier-Grad-Welt‘ genannt) wäre gekennzeichnet durch beispiellose Hitzewellen, Dürrekatastrophen und Überschwemmungen in vielen Regionen, die einschneidende Folgen für menschliche und natürliche Ökosysteme und deren Leistungen hätten.

Noch kann eine Erwärmung um 4°C verhindert werden: Zahllose Studien zeigen, dass es technisch und wirtschaftlich realisierbare Emissionspfade gibt, die die Erwärmung auf voraussichtlich

unter 2°C begrenzen können (Abbildung 1). Welches Ausmaß die Auswirkungen annehmen, die Entwicklungsländern und der übrigen Welt widerfahren, hängt also davon ab, was Regierungen, Privatwirtschaft und Zivilgesellschaft beschließen und tun – und leider auch davon, was sie nicht tun.

Beobachtete Auswirkungen und Veränderungen des Klimasystems

Die eindeutigen Folgen der durch den Ausstoß von Treibhausgasen ausgelösten Veränderung des Klimasystems, wie sie im vierten IPCC-Sachstandsbericht (AR4) von 2007 beschrieben werden, haben sich, mehr oder weniger unvermindert, weiter verstärkt:

- Die Konzentration des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) ist weiter gestiegen: von einer vorindustriellen Konzentration von etwa 278 ppm (Teile je Million) auf mehr als 391 ppm im September 2012; derzeit steigt sie um 1,8 ppm pro Jahr.



- Die gegenwärtige CO₂-Konzentration ist die höchste, die es paläoklimatisch und geologisch belegbar in den letzten 15 Millionen Jahren gegeben hat.
- Die CO₂-Emissionen betragen derzeit rund 35 Milliarden metrische Tonnen pro Jahr (unter Berücksichtigung einer veränderten Landnutzung). Projektionen zufolge werden sie, ohne weitere politische Maßnahmen, auf 41 Milliarden metrische Tonnen CO₂ pro Jahr im Jahr 2020 ansteigen.
- Die globale Mitteltemperatur ist weiter gestiegen und liegt jetzt ca. 0,8°C über dem vorindustriellen Niveau.

Eine globale Erwärmung um 0,8°C mag gering erscheinen, doch viele Auswirkungen des Klimawandels sind schon jetzt zu spüren und eine Zunahme der Erwärmung von 0,8°C auf 2°C oder mehr stellt uns vor noch größere Herausforderungen. Sinnvoll ist auch, sich zu vergegenwärtigen, dass ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 4°C fast der Differenz zwischen den heutigen Temperaturen und denen der letzten Eiszeit entspricht, als große Teile Mitteleuropas und der nördlichen USA unter kilometerdickem Eis lagen und die globale Mitteltemperatur etwa 4,5 bis 7°C niedriger war. Hinzu kommt, dass sich dieser bedeutende – anthropogene – klimatische Wandel innerhalb eines Jahrhunderts, nicht innerhalb mehrerer Jahrtausende vollzieht.

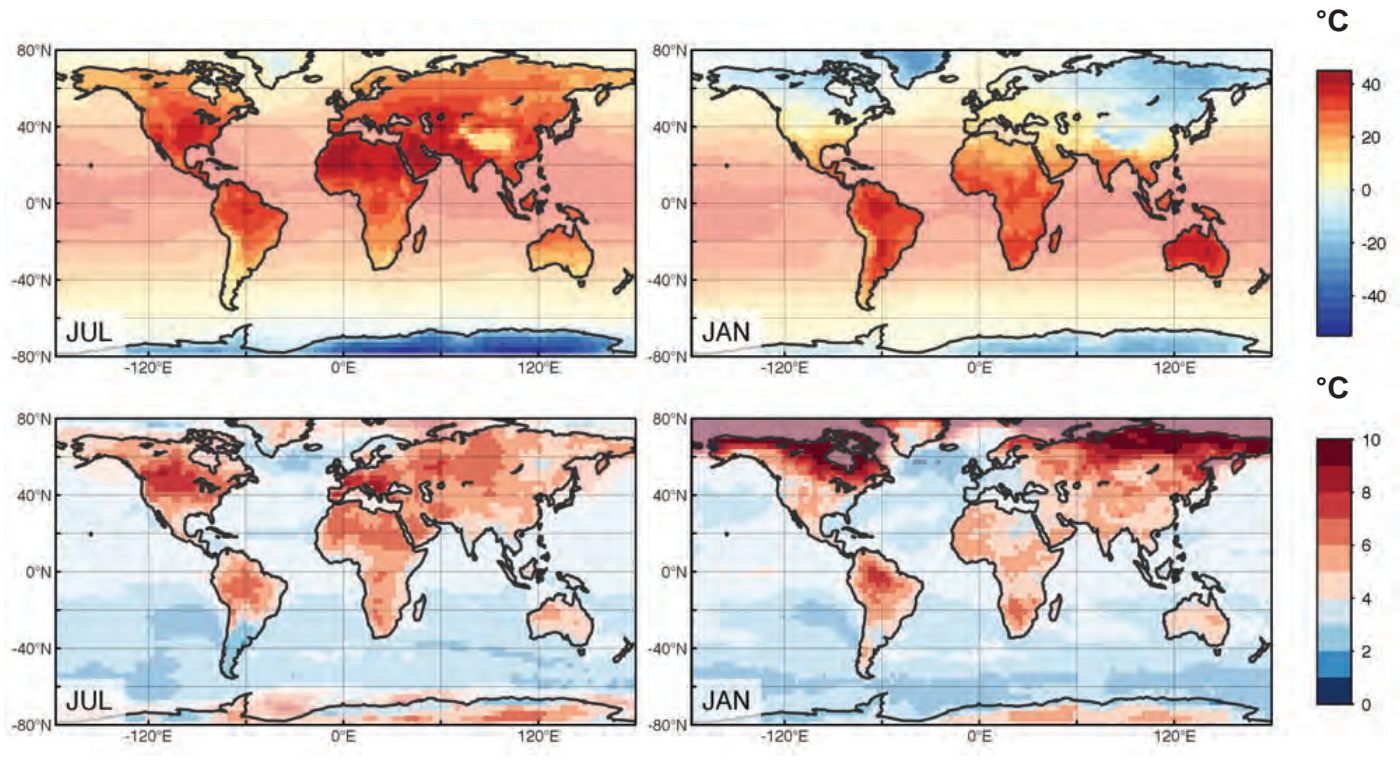
Die Weltmeere haben sich weiter erwärmt, wobei rund 90 Prozent der überschüssigen Wärmeenergie, die durch die zunehmende Treibhausgaskonzentration seit 1955 auf der Erde eingefangen blieben, in den Ozeanen als Wärme gespeichert wird. Der weltweite

mittlere Meeresspiegelanstieg betrug im 20. Jahrhundert etwa 15 bis 20 cm. In den vergangenen zehn Jahren stieg der Meeresspiegel im Durchschnitt um etwa 3,2 cm pro Jahrzehnt. Sollte dieses Tempo anhalten, würde das einen zusätzlichen Meeresspiegelanstieg von mehr als 30 cm im 21. Jahrhundert bedeuten.

Die Erwärmung der Atmosphäre und der Meere beschleunigt den Eisverlust an den Eisschilden Grönlands und der Antarktis. Das Abschmelzen könnte den Meeresspiegelanstieg zukünftig noch wesentlich verstärken. Insgesamt gesehen hat sich die Abschmelzrate laut IPCC AR4 seit dem Zeitraum 1993–2003 mehr als verdreifacht. Im Zeitraum 2004 bis 2008 betrug sie 1,3 cm pro Jahrzehnt, 2009 etwa 1,7 cm pro Jahrzehnt. Wenn das Abschmelzen der Eisschilde in diesem Tempo voranschreitet, würde der dadurch bedingte weltweite durchschnittliche Meeresspiegelanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts etwa 15 cm betragen. Ein deutliches Zeichen für die wachsende Anfälligkeit des grönländischen Eisschildes gegenüber der Erwärmung ist die rasche Ausweitung der Abschmelzfläche, die seit den 1970er Jahren zu beobachten ist. Im September 2012 erreichte das arktische Meereis ein Rekordminimum: Die sommerliche Eisdecke des arktischen Ozeans ist in den letzten 30 Jahren um die Hälfte geschrumpft.

Zu beobachten sind auch Veränderungen zahlreicher anderer klimatischer und ökologischer Aspekte des Erdsystems in Folge der globalen Erwärmung. So hat es in den letzten zehn Jahren weltweit eine ungewöhnlich hohe Zahl extremer Hitzewellen mit entsprechend gravierenden Folgen gegeben. Seit den 1960er Jahren hat der vom Menschen verursachte Klimawandel die Häufigkeit

Abbildung 2: Zusammenstellung der Mittelwerte aus verschiedenen Modellen der wärmsten monatlichen Temperaturen an jedem Ort der Welt im Zeitraum 2080–2100 für die Monate Juli (links) und Januar (rechts). Die Angaben sind in absoluten Temperaturen (oben) und in Abweichungen von den extremsten simulierten monatlichen Temperaturen für heute (unten) angegeben. Um die Unterscheidung zu erleichtern, wurde die Intensität der Farbskala über dem Ozean reduziert.



und Intensität von Hitzewellen gesteigert und damit wahrscheinlich auch deren soziale Folgen verschärft. In einigen Klimagebieten haben Intensität und/oder Häufigkeit von Extremniederschlägen und Dürren, wohl unter dem Einfluss des Menschen, zugenommen. Ein jüngeres Beispiel für extreme Temperaturen ist die Hitzewelle, die 2010 Russland heimsuchte und schwere Schäden zur Folge hatte. Nach vorläufigen Schätzungen kostete sie 55.000 Menschen das Leben, vernichtete rund 25 Prozent der Jahresernte, verbrannte mehr als 1 Million Hektar Fläche und verursachte wirtschaftliche Schäden in Höhe von 15 Milliarden US\$ (1 Prozent des Bruttoinlandsprodukts).

Ohne Klimawandel wären extreme Hitzewellen, etwa in Europa, Russland und den USA, nur einmal in mehreren hundert Jahren zu erwarten. Beobachtungen zufolge hat sich der Anteil der Erdoberfläche, der extrem hohen Temperaturen ausgesetzt ist, seit den 1950er Jahren verzehnfacht.

Auch der von Dürren betroffene Anteil an der Landoberfläche der Erde hat in den letzten 50 Jahren wahrscheinlich stark zugenommen – etwas schneller, als von Klimamodellen vorhergesagt. Von der Dürre in den USA im Jahr 2012 waren rund 80 Prozent

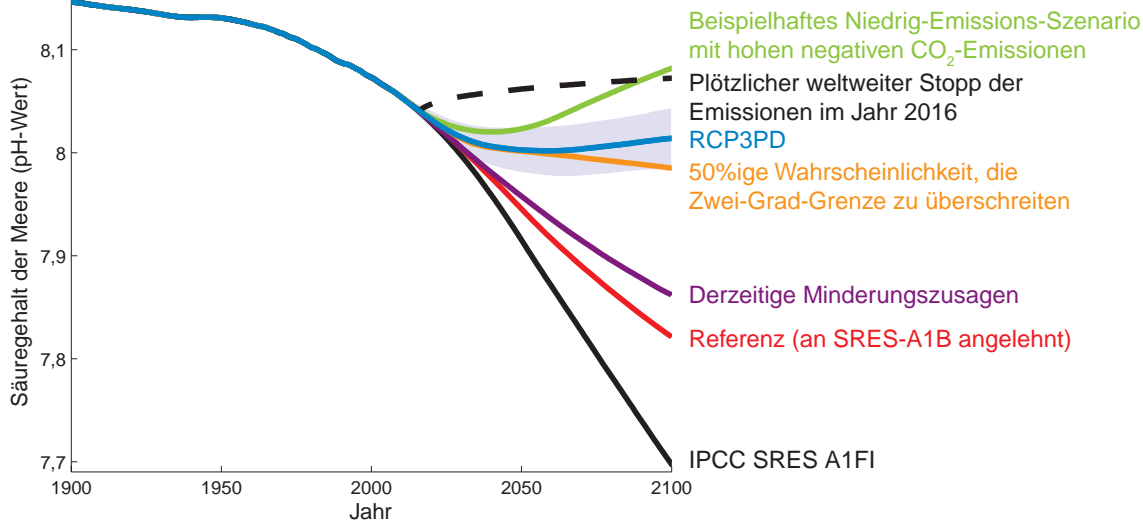
der Agrarflächen betroffen, was sie zur schlimmsten Dürre seit den 1950er Jahren machte.

Es gibt Anzeichen dafür, dass sich hohe Temperaturen nachteilig auf die Agrarproduktion auswirken: Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass die weltweite Mais- und Weizenproduktion, verglichen zur Entwicklung unter stabilen klimatischen Bedingungen, seit den 1980er Jahren möglicherweise signifikant zurückgegangen ist.

Beobachtet wurden in den letzten Jahrzehnten auch Auswirkungen hoher Temperaturen auf das Wirtschaftswachstum armer Länder. So besteht offenbar ein erhebliches Risiko, dass das wirtschaftliche Wachstum in armen Ländern aufgrund der Erderwärmung in Zukunft weiter geschwächt wird. Eine Studie¹ des Massachusetts Institute of Technology (MIT) zog historische Temperaturschwankungen in Ländern heran und ermittelte ihre Auswirkungen auf deren aggregierte Wirtschaftsleistung. Dabei zeigte sich, dass höhere Temperaturen das Wirtschaftswachstum armer Länder deutlich dämpfen und weitreichende Folgen haben können. Sie beeinträchtigen die Agrar- und Industrieproduktion

¹ Dell, Melissa, Benjamin F. Jones, and Benjamin A. Olken. 2012. "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century." *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3): 66-95.

Abbildung 3: Median-Schätzungen (Linien) von Wahrscheinlichkeitsprojektionen für den pH-Wert an der Meeresoberfläche. Ein niedrigerer pH-Wert weist auf eine schwerwiegendere Versauerung der Ozeane hin. Diese hemmt das Wachstum kalkbildende Organismen wie Schalentiere, kalkhaltiges Phytoplankton und Korallenriffe. Das SRES-A1FI-Szenario zeigt, dass mit einer Erwärmung um mehr als 4°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau mit hoher Wahrscheinlichkeit eine zunehmende Versauerung der Ozeane einhergehen wird. Die 95%ige Unsicherheitsspanne (schattierter Bereich) wird lediglich für ein Szenario angegeben, um die Lesbarkeit zu verbessern, und basiert hauptsächlich auf Unsicherheiten im Kohlenstoffzyklus. Szenarien und Modellierungsmethoden siehe Bernie et al., 2010; Rogelj et al., 2010; Hare et al., 2011; Schaeffer et al., 2012.



und untergraben die politische Stabilität. Diese Ergebnisse fließen in die Debatten über die Bedeutung des Klimas für wirtschaftliche Entwicklung ein und erlauben den Schluss, dass sich höhere Temperaturen eindeutig negativ auf arme Länder auswirken.

Projizierte Auswirkungen des Klimawandels in einer Vier-Grad-Welt

Die Folgen einer Erwärmung um 4°C werden sich nicht gleichmäßig über die Erde verteilen und auch nicht einfach nur die verstärkte Form einer Erwärmung um 2°C sein. Die Erwärmung wird am stärksten über dem Land ausfallen und 4 bis 10°C betragen. Zu erwarten ist ein Anstieg der durchschnittlichen monatlichen Sommertemperaturen um 6°C oder mehr in großen Regionen der Welt, zum Beispiel im Mittelmeerraum, in Nordafrika, im Nahen Osten und auf dem zusammenhängenden Gebiet der Vereinigten Staaten (Abbildung 2).

Projektionen für eine Vier-Grad-Welt sagen eine dramatische Steigerung der Intensität und Häufigkeit hoher Temperaturextreme voraus. Extreme Hitzewellen wie in Russland 2010 werden in einer Vier-Grad-Welt wahrscheinlich zum ganz normalen Sommer gehören. Das tropische Südamerika, Zentralafrika und alle tropischen Inseln im Pazifik werden aller Voraussicht nach regelmäßige Hitzewellen von beispielloser Intensität und Dauer erleben. In diesem neuen „Hochtemperatur-Klimaregime“ werden

die kältesten Monate wahrscheinlich wesentlich wärmer als die wärmsten Monate des ausgehenden 20. Jahrhunderts sein. In Regionen wie dem Mittelmeerraum, Nordafrika, dem Nahen Osten und dem Hochland von Tibet werden vermutlich alle Sommermonate wärmer sein als die heftigsten Hitzewellen der Gegenwart. Im Mittelmeerraum beispielsweise könnte der wärmste Juli 9°C wärmer sein als der wärmste Juli unserer Zeit.

Die extremen Hitzewellen der vergangenen Jahre haben gravierende Folgen gehabt und zu hitzebedingten Todesfällen, Waldbränden und Ernteaufschlägen geführt. Zu den Folgen der extremen Hitzewellen, die für eine Vier-Grad-Welt projiziert sind, gibt es noch keine Auswertungen. Es ist jedoch zu erwarten, dass sie erheblich schwerer sein werden als die, die wir heute erleben, und dass sie die Anpassungskapazitäten vieler Gesellschaften und natürlicher Systeme bei Weitem übersteigen werden.

Steigende CO₂-Konzentration und die Versauerung der Meere

Abgesehen von der Erwärmung des Klimasystems ist eine der bedrohlichsten Folgen des steigenden Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre die Versauerung der Meere. Sie resultiert aus der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. Beobachtungen zufolge hat die Versauerung der Ozeane, verglichen mit vorindustriellen Werten, stark zugenommen. Eine Erwärmung um 4°C oder



mehr bis 2100 entspräche einer CO_2 -Konzentration von mehr als 800 ppm und einem Anstieg des Säuregehalts der Meere von etwa 150 Prozent. Die beobachteten und für das nächste Jahrhundert vorhergesagten Veränderungsdaten der Meeresversauerung gelten als beispiellos in der Geschichte der Erde. Meeresorganismen und marine Ökosysteme zeigen erste Anzeichen einer Schädigung durch Versauerung in Verbindung mit den Auswirkungen von Erwärmung, Überfischung und der Zerstörung von Habitaten (Abbildung 3).

Vor allem Korallenriffe reagieren empfindlich auf veränderte Wassertemperaturen, pH-Werte des Meerwassers und Intensität und Häufigkeit tropischer Wirbelstürme. Riffe bieten Schutz vor Küstenüberschwemmungen, Sturmfluten und Schäden durch Wellen; sie sind Kinderstube und Lebensraum für zahlreiche Fischarten. Es ist möglich, dass Korallenriffe das Wachstum einstellen, wenn die CO_2 -Konzentration in den kommenden Jahrzehnten auf etwa 450 ppm ansteigt, (was bei einer Erwärmung um ca. $1,4^\circ\text{C}$ in den 30er-Jahren dieses Jahrhunderts der Fall wäre). Bei einer Konzentration von etwa 550 ppm (entspricht einer Erwärmung um ca. $2,4^\circ\text{C}$ in den 60er Jahren des Jahrhunderts) gilt es als wahrscheinlich, dass viele Korallenriffe beginnen sich aufzulösen. Schon bei einer Erwärmung der Erdatmosphäre um $1,5^\circ\text{C}$ gefährdet die Kombination aus thermisch induzierter Bleiche, Versauerung der Meere und Meeresspiegelanstieg große Teile von Korallenriffen. Die regionale Vernichtung ganzer Korallenriff-Ökosysteme, die lange vor Erreichen der Vier-Grad-Grenze geschehen könnte, hätte tief greifende Folgen für die in ihnen lebenden Arten und

für die Menschen, denen sie Nahrung und Einnahmen, etwa aus dem Tourismus, wie auch Küstenschutz bieten.

Meeresspiegelanstieg, Überschwemmungen und Landverlust in Küstenregionen

Eine Erwärmung um 4°C wird voraussichtlich zu einem Meeresspiegelanstieg von mindestens 0,5 bis 1 m bis 2100 und weiteren Metern in den folgenden Jahrhunderten führen. Die Begrenzung der Erwärmung auf 2°C würde den Meeresspiegelanstieg, verglichen mit einer Vier-Grad-Welt, wahrscheinlich auf 20 cm bis 2100 eindämmen. Doch selbst wenn die globale Erwärmung auf 2°C begrenzt würde, könnte der mittlere globale Meeresspiegel weiter steigen, laut manchen Schätzungen bis zum Jahr 2300 um 1,5 bis 4 m über dem heutigen Niveau. Nur bei einer Erwärmung von deutlich unter $1,5^\circ\text{C}$ ließe sich der Meeresspiegelanstieg auf unter 2 m begrenzen.

Der Meeresspiegelanstieg wird regional variieren: Aus geophysikalischen Gründen wird damit gerechnet, dass er in den Tropen um bis zu 20 Prozent über dem Durchschnitt und in höheren Breiten unter dem Durchschnitt liegen wird. Vor allem das Abschmelzen der Inlandeisschilde wird die Anziehungskraft der ozeanischen Wassermassen hin zu den Eisschilden verringern. Das bedeutet, dass sich das Meerwasser stärker am Äquator konzentrieren wird.

Auch durch die Erderwärmung und andere Faktoren veränderte Wind- und Meeresströmungen wie auch die Verteilung der Wärmeaufnahme und Erwärmung des Meerwassers werden sich auf den regionalen Meeresspiegelanstieg auswirken.

Die projizierten Folgen des Meeresspiegelanstiegs werden selbst innerhalb einzelner Regionen und Länder asymmetrisch verteilt sein. Eine Projektion der Folgen für 31 Entwicklungsländer ergab, dass zehn Städte allein zwei Drittel der Gesamtexposition gegenüber extremen Überschwemmungen ausmachen. Besonders gefährdete Städte liegen in Mosambik, Madagaskar, Mexiko, Venezuela, Indien, Bangladesch, Indonesien, auf den Philippinen und in Vietnam.

Weitreichende negative Auswirkungen wird der Meeresspiegelanstieg für kleine Inselstaaten und Flussdeltaregionen haben, besonders im Zusammenspiel mit der für viele Tropenregionen vorhergesagten zunehmenden Intensität tropischer Wirbelstürme, mit anderen Extremwetterereignissen und mit klimawandelbedingten Folgen für Meeresökosysteme (wie dem Verlust schützender Riffe aufgrund von Temperaturanstieg und Meeresversauerung).

Gefährdung der für den Menschen lebenswichtigen Systeme: Nahrung, Wasser, Ökosysteme und menschliche Gesundheit

Obleich die Projektionen der Folgen einer Vier-Grad-Welt noch vorläufig sind und der Vergleich einzelner Bewertungen oft schwerfällt, zeigt dieser Bericht eine Vielzahl gravierender Risiken für die lebenswichtigen Systeme des Menschen auf. Bei fortschreitender Erwärmung werden extreme Temperaturen, Hitzewellen, Regenfälle und Dürren zunehmen, sodass die Risiken in einer Vier-Grad-Welt wesentlich höher sein werden als in einer Zwei-Grad-Welt.

In einer sich schnell um 4° C erwärmenden Welt werden die gravierendsten Folgen für die Wasserverfügbarkeit voraussichtlich mit dem steigenden Wasserbedarf einer wachsenden Weltbevölkerung verbunden sein. Einige Schätzungen besagen, dass eine Erwärmung um 4°C die schon in vielen Regionen bestehende Wasserknappheit noch spürbar verstärken wird, vor allem in Nord- und Ostafrika, dem Nahen Osten und Südasien. Gleichzeitig, so heißt es, sehe sich eine wachsende Zahl afrikanischer Länder erstmals einem Wassermangel gegenüber, der aufgrund des Bevölkerungswachstums ganze Länder betreffen könnte.

- Größere Trockenheit wird beispielsweise für Südeuropa, Afrika (mit Ausnahme einiger Gebiete im Nordosten), große Teile Nord- und Südamerikas und das südliche Australien vorhergesagt.
- Mehr Niederschläge werden vor allem für die nördlichen hohen Breiten, also das nördliche Nordamerika, Nordeuropa und Sibirien, und für einige Monsunregionen prognostiziert. In

einigen Regionen kann es vorkommen, dass infolge des Klimawandels weniger Wasserstress herrscht als ohne Klimawandel.

- Subsaisonale und subregionale Veränderungen des Wasserkreislaufs werden gravierende Risiken wie Überschwemmungen und Dürren zur Folge haben, die signifikant zunehmen könnten, selbst wenn sich die Jahresdurchschnittswerte kaum ändern.

Bei fortschreitender Erwärmung werden Starkregenfälle und Dürren zunehmen, sodass die Risiken in einer Vier-Grad-Welt vermutlich wesentlich höher sein werden als in einer Zwei-Grad-Welt.

- Flusseinzugsgebiete wie der Ganges und der Nil, die unter Monsun-Einfluss stehen, reagieren besonders empfindlich auf einen saisonal veränderten Abfluss von Oberflächenwasser, was die Verfügbarkeit von Wasser stark beeinträchtigen kann.
- Der mittlere jährliche Abfluss, so wird erwartet, wird in den Einzugsgebieten von Donau, Mississippi und Amazonas und im Murray-Darling-Becken um 20 bis 40 Prozent abnehmen, in den Flussgebieten von Nil und Ganges hingegen um ungefähr 20 Prozent zunehmen.

Das Ausmaß dieser Veränderungen wird sich in einer Vier-Grad-Welt etwa verdoppeln.

Die Gefahr, dass es zu Störungen von Ökosystemen infolge von Ökosystemveränderungen und -wandel, Waldschäden und Flächenbränden kommt, wäre bei einer Erwärmung um 4°C signifikant größer als bei geringerer Erwärmung. Die wachsende Anfälligkeit gegenüber Hitze und Dürrestress wird wahrscheinlich die Sterblichkeit der Arten erhöhen und ihr Aussterben beschleunigen.

Ökosysteme werden von einer wachsenden Zahl von Extremereignissen wie Waldverlust infolge von Dürren und Flächenbränden betroffen sein, die durch Landnutzung und eine Ausweitung landwirtschaftlicher Aktivitäten noch verstärkt werden. Die Zahl der Waldbrände im Amazonasgebiet könnte bei einer Erwärmung um etwa 1,5 bis 2°C gegenüber vorindustriellem Niveau bis 2050 auf fast das Doppelte ansteigen. In einer Vier-Grad-Welt ist mit noch gravierenderen Veränderungen zu rechnen.

Tatsächlich scheint es wahrscheinlich, dass sich der Klimawandel in einer Vier-Grad-Welt zum bedeutendsten Auslöser für Veränderungen der Ökosysteme entwickeln würde, welche die Zerstörung von Biotopen als größter Bedrohung der biologischen Vielfalt noch übertreffen. Neueren Forschungen zufolge wird es in einer Vier-Grad-Welt wahrscheinlich zu einem größeren Verlust der Artenvielfalt kommen. Der Klimawandel und hohe CO₂-Konzentrationen werden die Ökosysteme der Erde in einen Zustand überführen, wie ihn die Menschheit bisher nicht gesehen hat. Es ist zu erwarten, dass die Schäden an Ökosystemen für den Menschen unverzichtbare Ökosystemleistungen (wie Fischgründe

und Küstenschutz durch Korallenriffe und Mangrovenwälder) stark beeinträchtigen werden.

Eine angemessene Versorgung mit Nahrung und anderen Agrarprodukten wird angesichts des Bevölkerungswachstums und steigender Einkommen auch unabhängig von einem menschengemachten Klimawandel eine Herausforderung sein. In seinem vierten Sachstandsbericht (Fourth Assessment Report) geht der IPCC davon aus, dass die weltweite Nahrungsmittelproduktion bei einem durchschnittlichen lokalen Temperaturanstieg um 1 bis 3°C steigt, darüber hinaus jedoch abnehmen könnte.

Jüngere, nach 2007 publizierte Ergebnisse klingen indes weit weniger zuversichtlich. Vielmehr lassen sie darauf schließen, dass die Gefahr von Ernteeinbußen in Folge der zunehmenden Erwärmung der Erde rapide wächst. Schon jetzt zeigen sich in verschiedenen Regionen wie Afrika, Australien, Indien und den USA massive Beeinträchtigungen durch hohe und extreme Temperaturen. So hat man in den USA bei einem Anstieg der lokalen Tagestemperaturen auf 29°C bzw. 30°C signifikante nichtlineare Auswirkungen auf Mais und Sojabohnen beobachtet. Diese aktuellen Ergebnisse deuten darauf hin, dass in einer Vier-Grad-Welt ein großes Risiko besteht, dass hohe Temperaturschwellenwerte überschritten werden und sich damit die weltweite Ernährungssicherheit spürbar verschlechtert.

Hinzu kommen die mit dem zu erwartenden Meeresspiegelanstieg verbundenen Schäden für die Landwirtschaft in wichtigen tief liegenden Deltagebieten wie in Ägypten, Bangladesch, Vietnam und Teilen der afrikanischen Küste. In vielen Küstenzonen mittlerer Breiten wird der Meeresspiegelanstieg voraussichtlich dazu führen, dass Salzwasser verstärkt in küstennahe Grundwasserleiter eindringt, die zur Bewässerung der Küstenebenen benutzt werden. Weitere Risiken bestehen durch die Wahrscheinlichkeit zunehmender Dürren in mittleren Breiten und der erhöhten Überschwemmungsgefahr in höheren Breiten.

Die erwartete zunehmende Intensität von Extremwetterereignissen wird voraussichtlich die Armutsbekämpfung insbesondere in Entwicklungsländern beeinträchtigen. Den jüngsten Projektionen zufolge werden die Armen besonders empfindlich auf die in einer Vier-Grad-Welt immer stärker ausgeprägten Dürreperioden reagieren, vor allem in weiten Teilen Afrikas, Südasiens und anderen Regionen.

Großräumige Extremereignisse wie starke Überschwemmungen, welche die Nahrungsmittelproduktion behindern, könnten obendrein zu Mangelernährung führen und die Häufigkeit von Epidemien erhöhen. Durch Überschwemmungen kann Trinkwasser mit Schadstoffen und Krankheitskeimen verunreinigt werden, sodass sich Durchfall- und Atemwegserkrankungen verbreiten. Die Folgen des Klimawandels für die Agrarproduktion können in vielen Regionen Unter- und Mangelernährung verstärken – schon heute ein maßgeblicher Faktor im Hinblick auf die Kindersterblichkeit in Entwicklungsländern. Es ist davon auszugehen, dass

wirtschaftliches Wachstum die persönliche Entwicklung von Kindern signifikant fördert. Der Klimawandel hingegen macht diese Errungenschaften in vielen Regionen zunichte: Zu erwarten ist, vor allem in Subsahara-Afrika und Südasien, ein deutlicher Anstieg ernährungsbedingter Wachstumsverzögerungen bei einer Erwärmung um 2 bis 2,5°C, was sich bei einer Erwärmung um 4°C deutlich verschärfen dürfte. Obwohl viel zur Verbesserung der Gesundheitsversorgung getan wird (zum Beispiel bessere medizinische Versorgung, Entwicklung von Impfstoffen, Vorsorgeprogramme), muss mit erheblichen zusätzlichen Folgen für das Armutsniveau und die menschliche Gesundheit gerechnet werden. Veränderungen der Temperatur, Niederschlagsmengen und Luftfeuchtigkeit haben Einfluss auf vektorübertragene Krankheiten (wie Malaria und Dengue-Fieber) sowie auf Hantavirus-Infektionen, Leishmaniose, die Lyme-Krankheit und Schistosomiasis (Bilharziose).

Zu den weiteren gesundheitlichen Folgen des Klimawandels können Verletzungen und Todesfälle aufgrund von Extremwetterereignissen zählen. Durch Hitze verstärkter Smog kann Atemprobleme und Herz-Kreislauf-Erkrankungen verschlimmern, während in manchen Regionen ein klimawandelbedingter Anstieg der Konzentration von Aeroallergenen (Pollen, Sporen) in der Luft das Auftreten allergischer Atembeschwerden fördert.

Drohende Entwurzelung und Landflucht in einer Vier-Grad-Welt

Der Klimawandel vollzieht sich nicht im luftleeren Raum. Aller Voraussicht nach werden das Wirtschafts- und das Bevölkerungswachstum im 21. Jahrhundert das Wohlergehen der Menschen und die Anpassungsfähigkeit in vielen, wenn nicht in den meisten Regionen erhöhen. Zur gleichen Zeit jedoch werden sich zunehmende Belastungen und Anforderungen an ein planetares Ökosystem kritischen Grenzen nähern. Wahrscheinlich ist, dass durch diese Belastungen und projizierten Folgen des Klimawandels die Widerstandskraft vieler natürlicher und bewirtschafteter Ökosysteme abnimmt.

Die prognostizierten Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Wasser, auf die Ökosysteme, die Landwirtschaft und die menschliche Gesundheit könnten zur weiträumigen Vertreibung von Bevölkerungsgruppen führen und die menschliche Sicherheit wie auch ganze Wirtschafts- und Handelssysteme beeinträchtigen. Das gesamte Ausmaß der Schäden in einer Vier-Grad-Welt ist noch nicht bewertet worden.

Großräumige und gravierende Veränderungen des Erdsystems werden bei der Entwicklung von Modellen zumeist gar nicht und in der Wirkungsanalyse nur selten berücksichtigt. Mit zunehmender Erwärmung der Erdatmosphäre um 2°C und mehr steigt die Gefahr, die Schwellenwerte nichtlinearer Kippelemente im Erdsystem zu überschreiten, was zu abrupten Klimawandelfolgen und

Klimaregimen mit beispielloser hohen Temperaturen führt. Zu den Beispielen zählen der Zerfall des westantarktischen Eisschildes, das den Anstieg des Meeresspiegels stärker beschleunigt, als in diesem Bericht vorhergesagt wird, und das großräumige Waldsterben am Amazonas, das Ökosysteme, Flüsse und Lebensgrundlagen, die Landwirtschaft und die Energiegewinnung in einer Region fast kontinentaler Ausdehnung massiv beeinflusst und vermutlich einen substanziellen Beitrag zur Erderwärmung im 21. Jahrhundert leistet.

Möglicherweise wird es auch nichtlineare Reaktionen auf die starke Erderwärmung in einzelnen Wirtschaftssektoren geben. So werden im Zuge der Erderwärmung um 2°C und mehr wahrscheinlich nichtlineare Temperatureffekte auf Nutzpflanzen äußerst wichtig werden. Allerdings tragen nur die wenigsten unserer gegenwärtigen Pflanzenwachstumsmodelle diesem Effekt oder der potenziell erhöhten Variabilität uneingeschränkt Rechnung (etwa extreme Temperaturen, erstmals einwandernde Schädlinge und Krankheiten, plötzliche Veränderungen kritischer Klimafaktoren mit großem Einfluss auf Erträge und/oder die Qualität der Ernte).

Typische Projektionen der Kosten der Klimawandelschäden bewerten die Kosten lokaler Schäden, etwa der Infrastruktur. Wirkungskaskaden nationaler und regionaler Größenordnung (zum Beispiel Wertschöpfungsketten und Unterstützungsnetze) berücksichtigen sie indes nur unzureichend. In einer immer stärker globalisierten Welt jedoch, in der sich die Produktionssysteme weiter spezialisieren und deren Abhängigkeit von der Infrastruktur, mit der die produzierten Waren verteilt werden, wächst, können Schäden an Infrastruktursystemen beträchtliche indirekte Auswirkungen haben. Seehäfen sind ein Beispiel für einen Ausgangspunkt, an dem ein Zusammenbruch oder eine massive Störung der Infrastruktureinrichtungen Konsequenzen auslösen kann, die weit über den jeweiligen Ort hinausreichen, an dem der Schaden auftrat.

Die kumulativen und sich gegenseitig beeinflussenden Effekte solcher weiträumigen Auswirkungen, die sich zum großen Teil wahrscheinlich lange vor einer Erwärmung um 4°C einstellen werden, sind noch nicht ausreichend erforscht. Beispielsweise gibt es in der Fachliteratur noch keine veröffentlichte Untersuchung aller ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen eines Zusammenbruchs der Korallenriff-Ökosysteme, schon gar nicht in Verbindung mit dem wahrscheinlich damit einhergehenden Verlust der marinen Produktion im Gefolge der steigenden Wassertemperaturen und mit der zunehmenden Versauerung der Meere und den großflächigen Folgen für menschliche Siedlungen und Infrastrukturanlagen in tief liegenden Küstenrandgebieten,

die das Ergebnis eines Meeresspiegelanstiegs um einen Meter oder mehr in diesem Jahrhundert und der Folgezeit sein werden.

Da das Ausmaß und die Zahl der Folgen mit dem Anstieg der globalen Mitteltemperatur zunehmen, kann es zu vermehrten Wechselwirkungen zwischen ihnen kommen, die die Gesamtwirkung noch verstärken. Zum Beispiel würde ein massiver Schock der landwirtschaftlichen Produktion aufgrund überregional extrem hoher Temperaturen in Kombination mit einer stark unter Druck geratenen Ressource „Wasser“ und einem veränderten Wasserkreislauf mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gesundheit und die Lebensgrundlagen der Menschen beeinträchtigen. Dies könnte wiederum zu einer Kaskade von Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung führen, da die Arbeitsfähigkeit der Bevölkerung beeinträchtigt wäre, was wiederum das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts hemmen würde.

In dem Maße, wie die Belastungen mit einer Erwärmung um 4°C zunehmen und klimaunabhängige soziale, wirtschaftliche und mit dem Bevölkerungswachstum verbundene Belastungen hinzukommen, steigt die Gefahr, dass kritische Grenzwerte des Sozialsystems überschritten werden. An solchen Grenzen würden bestehende Institutionen, die sonst Anpassungsmaßnahmen unterstützt hätten, wahrscheinlich spürbare Leistungseinbußen verzeichnen oder ganz zusammenbrechen. So können sich Länder, die auf Atollen liegen, durch den Meeresspiegelanstieg in ihren Kapazitäten für eine kontrollierte, auf Anpassung abzielende Migration leicht überfordert sehen – sodass ganze Landstriche oder Inseln verlassen werden müssen. Ebenso können Gesundheitsbelastungen wie Hitzewellen, Unterernährung und durch eindringendes Salzwasser zunehmend ungenießbares Trinkwasser die Gesundheitssysteme so stark strapazieren, dass Anpassung unmöglich wird und Zwangsumsiedlungen nötig werden.

Angesichts anhaltender Unsicherheit in Bezug auf die Art und das Ausmaß der Folgen ist also ungewiss, ob die Anpassung an eine Erwärmung um 4°C möglich ist. In einer Vier-Grad-Welt müssten Dorfgemeinschaften, Städte und Länder mit gravierenden Störungen, Schäden und Wanderungsbewegungen rechnen – zumeist ungleich verteilt. Aller Voraussicht nach wird es die Armen am schwersten treffen; die Weltgemeinschaft könnte sich noch stärker spalten und das Ungleichgewicht sich noch mehr verstärken, als es bereits heute der Fall ist. Kurzum: Zur projizierten Erwärmung um 4°C darf es nicht kommen – die Erwärmung muss gestoppt werden. Erreichen lässt sich das einzig und allein durch zeitnahes, gemeinsames Handeln auf internationaler Ebene.

Verzeichnis der Abkürzungen

°C	Grad Celsius
AIS	Antarktischer Eisschild
AOGCM	Atmosphäre-Ocean General Circulation Model Model (Allgemeines Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell)
AOSIS	Alliance of Small Island States (Allianz der kleinen Inselstaaten)
AR4	Vierter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)
AR5	Fünfter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)
BAU	Business As Usual (Weiter wie bisher)
CaCO ₃	Calciumcarbonat
cm	Zentimeter
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (Klimamodell-Vergleichsprojekt cmlP5)
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalent
DIVA	Dynamic Interactive Vulnerability Assessment (Werkzeug zur Bewertung der Vulnerabilität gegenüber dem Meeresspiegelanstieg)
DJF	Dezember Januar Februar
GCM	General Circulation Model (Globales Zirkulationsmodell)
GDP	Bruttoinlandsprodukt
GIS	Greenland Ice Sheet (Grönländischer Eisschild)
GtCO ₂ e	Gigatonnen CO ₂ -Äquivalent
IAM	Integrated Assessment Model (Integriertes Bewertungsmodell)
IBAU	„IMAGE (Model) Business As Usual“-Szenario (Hinkel et al. 2011)
ISI-MIP	Inter-Sectoral Model Inter-comparison Project (sektorübergreifender Modellvergleich zur besseren Abschätzung von Klimafolgen)
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC)
JJA	Juni Juli August
LDC	Least Developed Country (die am wenigsten entwickelten Länder)
MGIC	Mountain Glaciers and Ice Caps (Gebirgsgletscher und Eiskappen)
NH	Nördliche Hemisphäre
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Wetter- und Ozeanografiebehörde der Vereinigten Staaten)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)
PG	Population growth (Bevölkerungswachstum)
PGD	Population growth distribution (Verteilung des Bevölkerungswachstums)
ppm	parts per million (Teile pro Million)
RBAU	„Rahmstorf Business As Usual“-Szenario (Hinkel et al. 2011)
RCP	Representative Concentration Pathway (Repräsentativer Konzentrationspfad)
SH	Südliche Hemisphäre
SLR	Sea-Level Rise (Meeresspiegelanstieg)
SRES	IPCC Special Report on Emissions Scenarios (IPCC-Sonderbericht über Emissionsszenarien)
SREX	IPCC-Sonderbericht „Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel“
SSA	Subsahara-Afrika
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
WBG	Weltbankgruppe
WBG _T	Wet-Bulb Global Temperature (Maß für die Beurteilung von Hitzebelastung)
WDR	World Bank Group's World Development Report Report (Weltentwicklungsbericht der Weltbankgruppe)
WHO	Weltgesundheitsorganisation

