



Abb. 2
Die Windenergie hat in Deutschland inzwischen einen Anteil von acht Prozent am Stromverbrauch erreicht.

Abb. 1
Der weltweite Rückgang der Gletscher (im Bild der Nigardsbreen in Norwegen) ist eines der Symptome der globalen Erwärmung.

Fotos, wenn nicht anders angegeben, Stefan Rahmstorf.



Klimawandel

Aus dem Physiklabor auf die internationale Agenda

von Stefan Rahmstorf

Schon fast 200 Jahre kennen Wissenschaftler den Treibhauseffekt. Entstehung, Ausmaß und Folgen der Erderwärmung werden seitdem immer genauer beschrieben. Doch Politik, Wirtschaft und Gesellschaft nehmen alle Warnungen nicht ernst genug. Zunächst gilt es, den globalen Temperaturanstieg im Mittel auf unter zwei Grad Celsius zu begrenzen – eigentlich ein eher bescheidenes Ziel. Es ist ein Kompromiss zwischen dem aus der Sicht der Wissenschaftler Erforderlichen und dem politisch Erreichbaren.

Heute sind die Optionen für eine klimafreundlichere Gewinnung und Nutzung von Energie klarer denn je – wir müssen sie nur mit aller Kraft verfolgen, denn die Zeit für ihre Umsetzung läuft uns davon.

Frühe Forscher mit Weitblick

Es war der 10. Juni 1859, ein halbes Jahr, bevor CHARLES DARWIN seine „Origin of Species“ veröffentlichte. In den holzgetäfelten Räumen der Royal Society in London demonstrierte der britische Physiker JOHN TYNDALL eine Reihe bemerkenswerter Experimente. Die denkwürdige Versammlung wurde von Prinz ALBERT geleitet. Aber weder er noch TYNDALL dürften geahnt haben, wie sehr die Ergebnisse dieser Experimente die Welt 150 Jahre später in Atem halten würden.

Im Dezember 2009 trafen sich über 40.000 Menschen aus aller Welt, darunter rund 120 Staatschefs, in Kopenhagen – und scheiterten vorerst bei dem Versuch, die entscheidende Konsequenz aus TYNDALLS Messungen zu ziehen und den Ausstoß klimaschädlicher Gase wirksam zu begrenzen.

Der „Treibhauseffekt“ ist seit 1824 bekannt

Doch die Geschichte beginnt bereits vor TYNDALL, mit dem französischen Genie JOSEPH FOURIER. Als Waise, der von Mönchen erzogen wurde, hatte er bereits im Alter von 18 Jahren den Professorentitel inne. Er wurde Napoleons Gouverneur in Ägypten, widmete sich später aber wieder ganz der Wissenschaft. Im Jahr 1824 entdeckte er, weshalb

unsere Welt so warm ist – Dutzende Grade wärmer, als eine einfache Berechnung der Energiebilanz nahelegt. Die Sonne bringt die Wärme, und die Erde strahlt sie, unsichtbar für unser Auge, in alle Richtungen ins All hinein. Aber die Zahlen summierten sich nicht zu Null, denn sonst hätte sich die Erde dramatisch abkühlen müssen. FOURIER verstand, weshalb das nicht geschieht: Gase in unserer Atmosphäre

Abb. 3
In einem wärmeren Klima steigt die Gefahr von Überschwemmungen, da wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen und abregnen kann.





Abb. 4
Tafeleisberge wie dieser entstehen, wenn sich Teile von antarktischen Eisschelfen lösen. In den letzten zwanzig Jahren sind an der antarktischen Halbinsel mehrere Eisschelfe auseinandergebrochen, z. B. 2002 das Larsen B-Schelf. Foto: Gritta Veit-Köhler.

ARRHENIUS war nicht besorgt über eine Erwärmung, im Gegenteil – er hoffte, vor allem für die kälteren Teile der Erde, auf „gleichmäßigere und bessere klimatische Verhältnisse“ und schlug sogar vor, Kohleflöze anzuzünden, damit es möglichst bald wärmer werde.

Globale Messreihen bringen den Durchbruch

Aber all das blieb akademische Spekulation und nackte Theorie. Niemand verfügte über die nötigen Messungen, um einen CO₂-Anstieg in der Luft überhaupt nachzuweisen. Das änderte sich erst in den späten 1950er Jahren, als CHARLES KEELING mit bis dahin unerreichter Präzision CO₂-Messreihen in der Antarktis und auf dem Mauna Loa in Hawaii begann – weit weg von allen CO₂-Quellen. Schon 1960 gelang ihm der Nachweis, dass die CO₂-Konzentration in der freien Atmosphäre tatsächlich steigt.

Erste Warnungen in Expertenberichten der 1960er und 1970er Jahre

Nur fünf Jahre später erschien der erste von vielen Expertenberichten für den damaligen US-Präsident LYNDON B. JOHNSON, in dem die Wissenschaftler vor der drohenden globalen Erwärmung warnten: „Bis zum Jahr 2000 wird die Zunahme der CO₂-Menge rund 25 Prozent betragen. Das könnte ausreichen, um messbare, vielleicht deutliche Klimaänderungen zu verursachen.“ Einer spezifischeren Prognose in der führenden Fachzeitschrift „Nature“ im Jahr 1972 zufolge sollten die Temperaturen durch den Treibhauseffekt bis zum Jahr 2000 um 0,5 °C steigen. Auch „Science“ publizierte 1975 eine vergleichbare Rechnung. Diese Voraussagen sind umso bemerkenswerter, da sie zu einer Zeit gemacht wurden, als die Temperaturen über Jahrzehnte stagnierten. Aber die physikalischen Zusammenhänge waren ja bekannt. 1979 läutete die US National Academy of Sciences in einem Bericht als erste große Wissenschaftsorganisation die Alarmglocken wegen der drohenden Erwärmung.

Der IPCC nimmt seine Arbeit auf

Mitte der 1980er Jahre begannen die Messdaten der weltweiten Wetterstationen, den Erwärmungstrend zu belegen. Im Jahr 1988 wurde das „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) gegründet, und im Jahr 1992 unterzeichneten die Staatsführer der Welt in Rio de Janeiro ein

fangen die abgestrahlte Wärme ab. Er nannte diese Entdeckung „l'effet de serre“ – den Treibhauseffekt. Ohne ihn wäre unser Planet kalt und unbelebt.

Es war TYNDALL, der diese Ideen dann durch Laborversuche untermauerte. Er bewies, dass einige Gase Strahlungswärme absorbieren – genau die Wellenlängen, die die Erde abstrahlt. Eines davon war Kohlendioxid. TYNDALL beschrieb 1859 den Treibhauseffekt in überragender Klarheit: „The atmosphere admits of the entrance of solar heat, but checks its exit; and the result is a tendency to accumulate heat at the surface of the planet.“ Die Atmosphäre lässt Sonnenwärme hinein, aber behindert ihren Abfluss; das Ergebnis ist die Tendenz, Wärme an der Oberfläche des Planeten anzusammeln.

Erste Berechnungen

Im Jahr 1896 rechnete der schwedische Chemiker Svante Arrhenius, der einige Jahre später den Nobelpreis erhielt, zum ersten Mal aus, welche globale Erwärmung eine Verdoppelung der CO₂-Menge in der Luft verursachen würde. Er kam auf 4 bis 6 °C – etwas mehr also als die 2 bis 4 °C, die zahlreiche moderne Studien übereinstimmend ergeben. Für eine ganz korrekte Berechnung fehlten Arrhenius damals noch einige „Zutaten“.

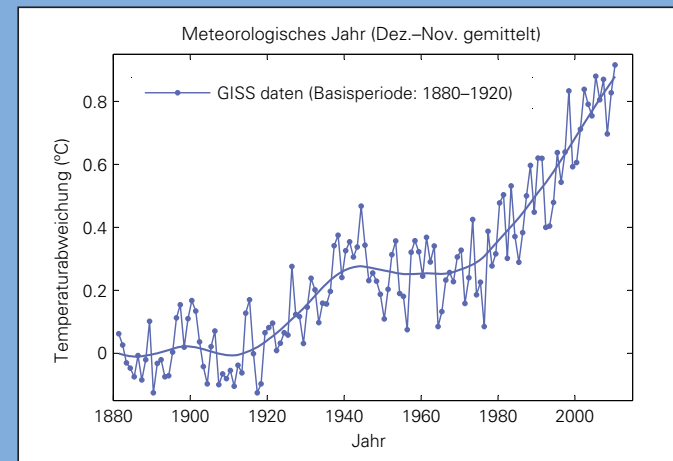


Abb. A: Globale Temperaturen bis einschließlich 2010 nach dem Datensatz der NASA, Goddard Institute for Space Studies (GISS). Punkte zeigen die einzelnen Jahreswerte, die Kurve einen nicht-linearen Trend über 15 Jahre geglättet. Die Zahlenwerte sind Abweichungen vom Mittelwert 1880–1920.

Exkurs: Zahlen und Fakten zur globalen Erwärmung

Wesentliche Kernaussagen der Klimaforschung wurden in den letzten Jahrzehnten so gut bestätigt, dass sie heute von Klimaforschern allgemein als Tatsachen akzeptiert sind. Dazu gehören:

1. Die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre ist seit ca. 1850 stark angestiegen, von dem für Warmzeiten seit mindestens 700.000 Jahren typischen Wert von 280 ppm auf inzwischen über 380 ppm.
2. Für diesen Anstieg ist der Mensch verantwortlich, in erster Linie durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, in zweiter Linie durch Abholzung von Wäldern.
3. CO₂ ist ein klimawirksames Gas, das den Strahlungshaushalt der Erde verändert: Ein Anstieg der Konzentration führt zu einer Erwärmung (Abb. A) der oberflächennahen Temperaturen. Verdoppelt sich der CO₂-Gehalt der Luft, steigt die globale Mitteltemperatur um 2 bis 4 °C an (der wahrscheinlichste Wert beträgt ca. 3 °C).
4. Seit 1900 stieg die globale Temperatur um rund 0,8 °C. Die Temperaturen der abgelaufenen zehn Jahre waren global die wärmsten seit Beginn der Messungen im 19. Jahrhundert und wahrscheinlich seit mindestens einem Jahrtausend.
5. Der überwiegende Teil dieser Erwärmung ist auf die gestiegene Konzentration von CO₂ und anderen anthropogenen Gasen zurückzuführen.

Diese Erkenntnisse beruhen auf jahrzehntelanger Forschungsarbeit und Tausenden von Studien – es ist praktisch undenkbar, dass sie durch einige neue Resultate auf einmal umgestoßen werden könnten. Der außerordentliche Konsens darüber zeigt sich in den Stellungnahmen zahlloser internationaler und nationaler Fachgremien, die sich ausführlich und kritisch mit der wissenschaftlichen Beweislage befasst haben. Neben den bekannten Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gibt es unter anderem Stellungnahmen der wissenschaftlichen Akademien aller G8-Staaten, der American Geophysical Union (AGU – die weltweit größte Organisation der Geowissenschaftler), der World Meteorological Organisation (WMO), der meteorologischen Organisationen vieler Länder (u. a. eine gemeinsame Erklärung der deutschen, österreichischen und schweizerischen meteorologischen Gesellschaften) oder des wissenschaftlichen Beirats Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU). Alle diese Gremien sind in den Kernaussagen immer wieder zu dem selben Ergebnis gelangt.

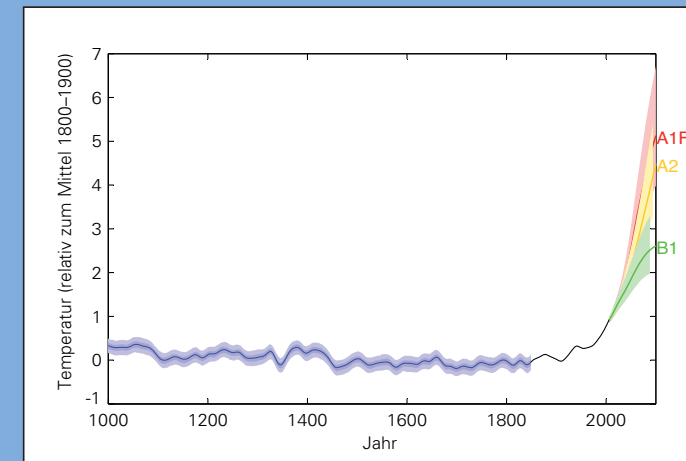


Abb. B: Szenarien des IPCC 2007 zum Anstieg der globalen Temperatur im 21. Jahrhundert. Gezeigt sind die drei Emissionsszenarien B1, A2 und A1FI mit zugehörigen Unsicherheitsbereichen. Zum Vergleich die Temperaturen seit dem Mittelalter aus Proxydaten (MANN et al. 2008, mit Fehlermargen, blau) sowie die Messdaten ab 1860 (schwarz).

Aus Punkt 1 bis 3 folgt, dass eine weitere Erhöhung der CO₂-Konzentration der Atmosphäre zu einem weiteren Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur führen muss. Je nach Höhe der künftigen Emissionen wird sich (ohne Klimaschutz) der Anstieg bis 2100 im Bereich von 2–7 °C über die vorindustrielle Temperatur bewegen (Abb. B).

Zum Vergleich: die letzte große globale Erwärmung fand Ende der letzten Eiszeit statt (vor ungefähr 15.000 Jahren). Über einen Zeitraum von 5.000 Jahren stieg die globale Temperatur um etwa 5 °C. Eine unbegrenzte anthropogene Erwärmung könnte schon in einem Bruchteil dieses Zeitraums ähnliche Ausmaße erreichen – und sie beginnt von einem bereits warmen Klima.

Folgen des Klimawandels

Durch die globale Erwärmung ergeben sich eine Reihe gravierender Risiken.

• Anstieg des Meeresspiegels und Abschmelzen der Eisschilde

Im 20. Jahrhundert stieg der globale Meeresspiegel um 15–20 cm. Der globale Meeresspiegel steigt seit 1990 mit 3,4 cm pro Jahrzehnt 80 % schneller als es die Szenarien des IPCC voraussagten. Der voraussichtliche Anstieg bis 2100 wird wahrscheinlich rund einen Meter betragen, im Extremfall bis zu zwei. Doch auch wenn die Erwärmung bei 3 °C gestoppt wird, steigt der Meeresspiegel in einer verzögerten Reaktion in den darauf folgenden Jahrhunderten wahrscheinlich um weitere Meter an (Abb. C). Dies gefährdet Städte in Küstennähe und tief liegende Inseln. Was heutzutage noch als Jahrhundertflut in New York gilt (mit verheerenden Schäden und überfluteten U-Bahnen), würde statistisch gesehen alle drei Jahre auftreten, falls der Meeresspiegel um nur einen Meter ansteige.

• Verlust von Ökosystemen und Tier- und Pflanzenarten

Die globale Temperatur würde Werte erreichen, die es in dieser Höhe seit Millionen von Jahren nicht gegeben hat. Die Temperatur würde so schnell steigen, dass viele Tier- und Pflanzenarten sich nicht daran anpassen können. Ein erheblicher Teil der Tier- und Pflanzenarten – einige Studien gehen von bis zu einem Drittel aus – könnten bereits im Jahre 2050 vom Aussterben bedroht sein. Das Leben in den Weltmeeren wird nicht nur vom Klimawandel bedroht, sondern vom nicht minder ernstzunehmenden Problem einer zunehmenden Versauerung, die ebenfalls durch unsere CO₂-Emissionen verursacht wird. weiter auf S.11 ►

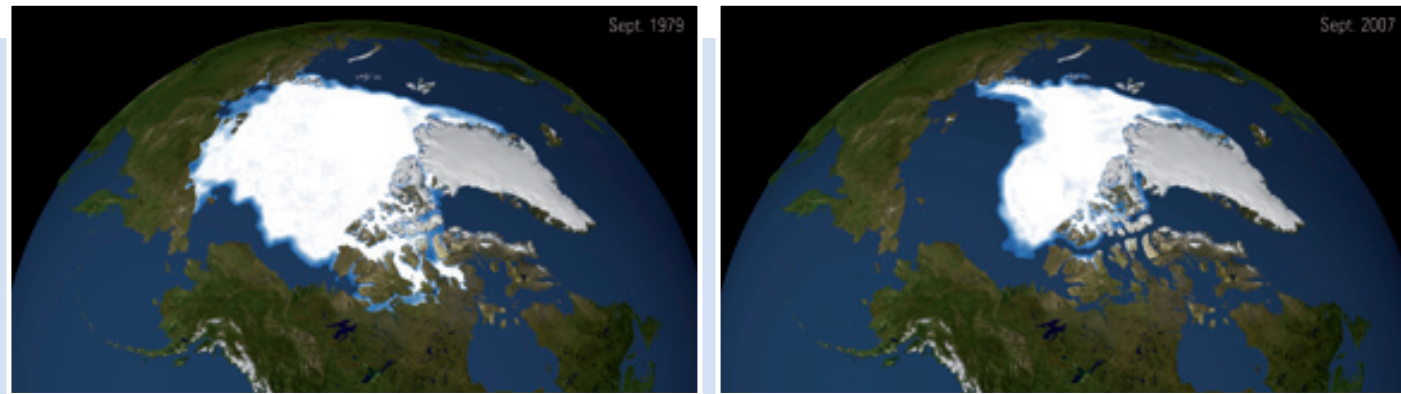


Abb. 5
Meereisdecke auf dem arktischen Ozean im September 1979 (dem Beginn der Satellitenmessungen) und im September 2007 (dem bisherigen Tiefpunkt). Der Trend zeigt eine Abnahme der Eisausdehnung um 40% seit den 1970er Jahren, gleichzeitig hat die Dicke abgenommen. Im Dezember 2010 wurde das bisherige Rekordminimum für den Monat Dezember gemessen. Quelle: NASA.

historisches Abkommen, die Klimarahmenkonvention. Ihr Ziel: „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau, das eine gefährliche menschliche Störung des Klimasystems verhindert“.

Anfang der 1990er Jahre waren die globalen Temperaturen im Vergleich zum Beginn des 20. Jahrhunderts bereits um 0,5°C gestiegen – seit dem Erdgipfel von Rio sind nochmals 0,3°C hinzugekommen. Und sie steigen weiter. Daten der NASA zufolge war das meteorologische Jahr 2010 global das wärmste seit den ersten Aufzeichnungen im Jahr 1880. Und das, obwohl die Sonne schwächelt: ihre Leuchtkraft verharrt nämlich seit einigen Jahren auf dem tiefsten Stand seit Beginn der Satellitenmessungen in den 1970ern.

Abb. 6
Zeugen der letzten Eiszeit: entlang dieses Tals in Neuseeland zieht sich die Lateralmoräne eines früheren Gletschers, auf der auch die Hubschrauber im Vordergrund geparkt sind.



Wenn das Eis schmilzt ...

Wer vom Weltall aus auf die Erde blickt, kann es deutlich sehen: Die Eisdecke auf dem arktischen Ozean schrumpft. In den letzten Jahren ging sie im Sommer auf rund fünf Millionen Quadratkilometer zurück – kaum mehr als halb so groß wie noch in den 1970ern. Im Jahr 2007 war erstmals seit

Menschengedenken die Nordwestpassage eisfrei; ein Jahr später dann sogar die Nordwest- und die Nordostpassage. Letztere wurde von Frachtschiffen einer Bremer Reederei im Sommer 2009 zum ersten Mal durchfahren.

Der globale Meeresspiegel steigt immer schneller an: Um 17 Zentimeter im 20. Jahrhundert, und seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1993 schon mit der doppelten Rate, nämlich um 3,4 cm pro Jahrzehnt. Die beiden großen Kontinentaleismassen in Grönland und der Antarktis tragen dazu nicht unerheblich bei: Im Zeitraum 2003 bis 2008 waren ihre zunehmenden Zerfallerscheinungen für 40 Prozent des gemessenen Meeresspiegelanstiegs verantwortlich.

Der Mensch beeinflusst das Klima

Die Klimageschichte warnt uns. Auf Veränderungen seiner Strahlungsbilanz hat der Planet stets sehr empfindlich reagiert, man denke nur an die großen Eiszeiten. Wir nutzen solche erdgeschichtlichen Daten in der Forschung, um die „Klimasensitivität“ zu bestimmen, das zentrale Maß für die Empfindlichkeit des Klimas gegenüber Störungen. Alles spricht dafür, dass der Planet auch dieses Mal heftig reagieren wird, wo der Mensch den wärmenden Treibhauseffekt verstärkt.

Und auch die Folgen von scheinbar moderaten Temperaturänderungen waren massiv und tiefgreifend. Der Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren war im globalen Mittel nur 4 bis 7°C kälter als unser gegenwärtiges Klima, aber der Planet war ein anderer. Die Ökosysteme auf den Kontinenten waren völlig andere, der Meeresspiegel um 120 Meter niedriger. Am Ende dieser Eiszeit verlor die Erde durch die Erwärmung den größten Teil der damaligen Eismassen. Als die große Schmelze vor rund 5.000 Jahren zu Ende ging, war noch ein Drittel des Eises übrig. Wie viel davon wird wohl abschmelzen, wenn wir die Erde um weitere drei, vier oder gar sieben Grad aufheizen? Der neue Schmelzprozess hat bereits begonnen.

Fortsetzung von Seite 9

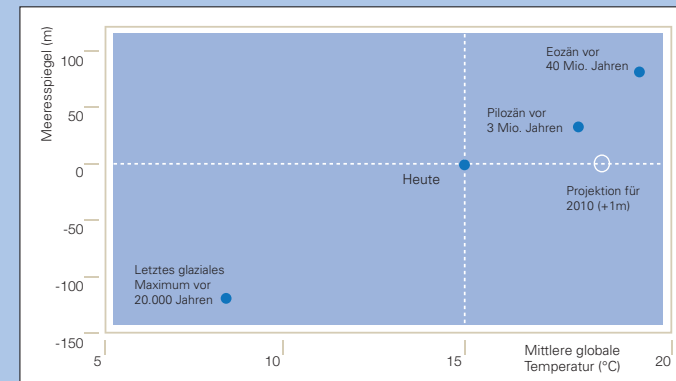


Abb. C: Durchschnittliche globale Temperatur und durchschnittlicher globaler Meeresspiegel zu unterschiedlichen Zeiten in der Erdgeschichte. Langfristig ist durch die anthropogene Erwärmung wahrscheinlich mit einem wesentlich höheren Meeresspiegelanstieg um mehrere Meter zu rechnen. Quelle: WBGU 2006, nach ARCHER 2006.

Gefahr von Extremereignissen

In einem wärmeren Klima steigt die Gefahr von Überschwemmungen, da wärmere Luft mehr Wasser aufnehmen kann (pro Grad Erwärmung 7% mehr). Es wird in einigen Regionen wahrscheinlich mehr Dürreperioden und Waldbrände geben, so wie es derzeit bereits im Mittelmeerraum oder im südlichen Afrika der Fall ist. Es ist zu erwarten, dass Hurrikane größere Zerstörungen anrichten. Sowohl Modelle als auch Daten zeigen einen Anstieg der Stärke (nicht aber der Häufigkeit) von Hurrikanen aufgrund höherer Meeresoberflächentemperaturen (Abb. D). Im abgelaufenen Jahrzehnt gab es eine Häufung nie dagewesener Extreme, zuletzt z. B. die Hitzewelle in Russland und Überflutungen in Pakistan 2010 sowie Extremniederschläge in Australien diesen Januar.

Gefahr für Wasserversorgung und Nahrungsangebot

Während die globale landwirtschaftliche Produktion in wärmeren Klimaverhältnissen nicht notwendigerweise zurückgehen muss, wird es in ärmeren und warmen Ländern aufgrund von Wasserknappheit und Wetterextremen zu Ernteeinbußen kommen. Die Wasserversorgung größerer Städte wie Lima ist gefährdet, wenn Berggletscher verschwunden sind.

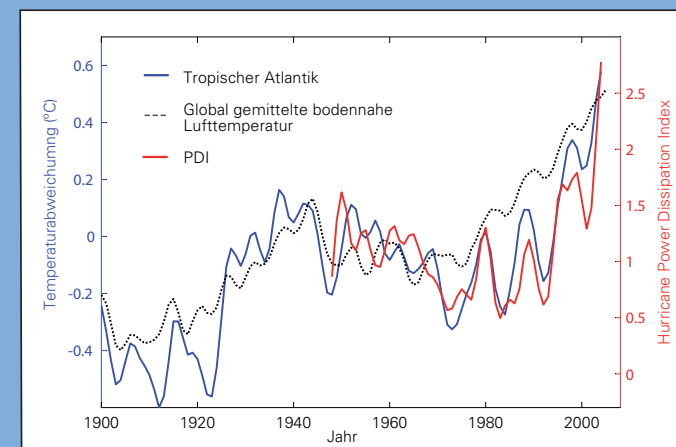


Abb. D: Zeitliche Entwicklung der Intensität von tropischen Stürmen (Power Dissipation Index – PDI, rot) und durchschnittliche Meeresoberflächentemperatur im tropischen Atlantik von August bis Oktober (blau). Zum Vergleich wird die Entwicklung der global gemittelten Temperatur gezeigt (gestrichelte graue Linie). Quelle: WBGU 2006, nach EMANUEL 2005.

Dies sind nur einige Beispiele. Die genauen Folgen eines derart einschneidenden Klimawandels lassen sich nicht leicht voraussagen und somit sind auch Überraschungen möglich.

Wie kann die Klimaerwärmung egedämmt werden?

Um die schlimmsten Folgen eines Klimawandels zu vermeiden, hat die Weltgemeinschaft 2010 in Cancun beschlossen, die globale Erwärmung auf unter 2°C über vorindustriellem Niveau zu begrenzen (s. Abb. B). Hierzu ist es notwendig, die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre unterhalb von 450 ppm zu stabilisieren (möglicherweise auch nach einer zeitweiligen Überschreitung dieses Wertes).

Dieses Ziel kann erreicht werden, indem die weltweiten Emissionen an Treibhausgasen (nicht nur CO₂) bis 2050 im Vergleich zu 1990 mindestens halbiert werden. Dazu müsste der Höhepunkt der globalen Emissionen in spätestens zehn Jahren überschritten sein (s. Abb. E).

Nach den aktuellen Ergebnissen der ökonomischen Modellierung (siehe u. a. Sonderausgabe des Energy Journal, EDENHOFER et al. 2006) kann dies mit geringem Kostenaufwand (weniger als 1% des Bruttosozialprodukts bis 2100) durch induzierte technologische Erneuerungen, einschließlich erhöhter Energieeffizienz und erneuerbarer Energietechnologien (Windenergie, Biomasse, Solarenergie) erreicht werden. Die Kosten dieser Umstellung dürften einen Bruchteil der Kosten betragen, die durch einen ungebremsten Klimawandel auf uns zu kämen (STERN 2006). Detaillierte Szenarien für den dringend notwendigen Umbau des Energiesystems wurden u. a. durch den Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 2003) entwickelt. Technisch und wirtschaftlich ist das Klimaproblem durchaus zu lösen. Grundvoraussetzung ist jedoch die politische und gesellschaftliche Entschlossenheit, es ernsthaft anzupacken.

Weitere Informationen finden Sie in den Büchern „Der Klimawandel“, „Wie bedroht sind die Ozeane?“ und „The Climate Crisis“ (s. dazu S. 50 in diesem Heft) sowie auf der Webseite des Autors (www.ozean-klima.de).

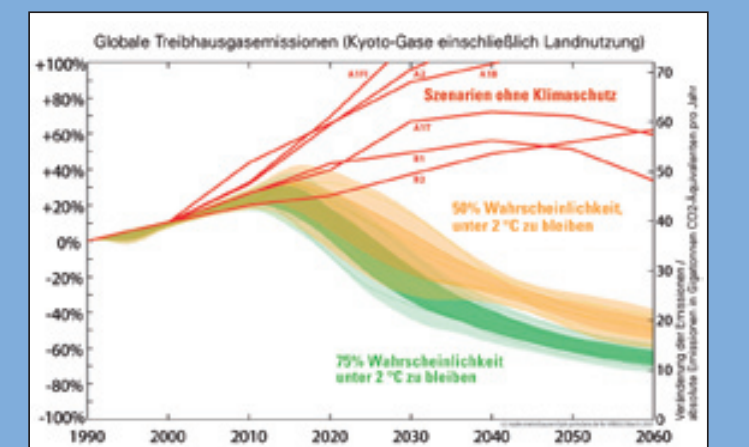


Abb. E: Vergleich unterschiedlicher Emissionsszenarien für den Zeitraum 1990 bis 2060. Rot sind die bekannten IPCC SRES-Szenarien ohne Klimaschutzmaßnahmen („non-mitigation“). Orange zeigt ein Bündel von Szenarien, bei dem mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit das EU 2-Grad-Limit eingehalten wird. Grün sind Szenarien, bei denen dies mit 75% Wahrscheinlichkeit der Fall ist. Quelle: MEINSHAUSEN, PIK 2007.



▲ **Klimaschutz noch in den Kinderschuhen**
 Abb. 7 Podium beim Global Editors Forum in Kopenhagen zu wissenschaftlichen und ethischen Aspekten der globalen Erwärmung. Von links: Katherine Richardson, Lord Nicholas Stern, Jean-Pascal Ypersele, Peter Singer, Stefan Rahmstorf und Jeffrey Sachs. Foto: Esther Dyson.



▶ **Abb. 8** Stefan Rahmstorf spricht über den Klimawandel in der Arktis. Foto: Christine Kisorsy/DUH.

Nun müssen wir unsere Energie anders gewinnen. Wir haben keine andere Wahl, wollen wir unseren Kindern und Enkeln nicht versinkende Küstenstädte, versauernde Ozeane, brennende Wälder, überschwemmte Lebensräume und verdorrte Erde hinterlassen.

Wege aus der Krise

Eine offensichtliche Lösung ist die unerschöpfliche Energiequelle, die auch unser Klimasystem antreibt: die Sonne. In der Sonne haben wir den perfekt zuverlässig funktionierenden Fusionsreaktor, mit einem beruhigenden Sicherheitsabstand von rund 150 Millionen Kilometern. Fortwährend badet sie uns in einem überreichlichen Photonenstrom. Könnten wir die bei uns ankommende Energie zu 100 Prozent nutzen – eine Stunde Sonneneinstrahlung würde ausreichen, die gesamte Menschheit mehr als ein Jahr lang mit Energie zu versorgen.

Wir müssen den Energiestrom der Sonne nur entschlossener und effektiver nutzen. Technologien dafür haben wir bereits: Windräder, Fotovoltaik und solarthermische Kraftwerke, um nur einige zu nennen. Vieles muss und wird zweifellos noch verbessert werden: intelligente Netze, Speichertechniken, Elektrofahrzeuge. Angesichts der erfreulichen technologischen Fortschritte könnte man ganz entspannt und optimistisch in die Zukunft blicken. Wenn nur ein Problem nicht wäre: die Zeit läuft uns davon.

Abb. 9–11 Technologische Schritte im Klimaschutz:

Links: „alpha ventus“, der erste deutsche Offshore-Windpark 45 km nördlich der Insel Borkum, wurde 2009 in Betrieb genommen. 12 Rotoren mit einer Leistung von jeweils 5 Megawatt produzieren genug Strom, um bis 50.000 Haushalte zu versorgen. Foto: DOTI 2009.



Mitte: Thermisches Solarkraftwerk (Solúcar Platform) in Sevilla bei Spanien. Solche Anlagen in Südeuropa und Nordafrika könnten künftig einen signifikanten Beitrag zur Stromversorgung Europas liefern. Foto: Abengoa Solar.



Rechts: Dreht sich mit der Sonne: Das „Heliotrop“ war das erste Haus der Welt, das mehr Energie produzierte, als in seinem Innern verbraucht wird. Foto: Rolf Disch.



Im Wettlauf gegen die Zeit

Seit Rio sind so viele Jahre mit stetig steigenden Emissionen vergangen, dass die in Kopenhagen immerhin beschlossene Begrenzung der Erderwärmung auf höchstens zwei Grad nur noch mit einer sofortigen und entschlossenen Kehrtwende zu erreichen ist. Wegen der langen Lebensdauer von CO₂ in der Atmosphäre (ein großer Teil wird auch in tausend Jahren noch in der Luft sein) bedeutet die Begrenzung der Erwärmung automatisch eine Begrenzung der Menge an CO₂, die noch ausgestoßen werden kann. Und zwar nicht pro Jahr, sondern insgesamt.

Wollen wir die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 Prozent unter 2°C halten, können bis 2050 noch rund 700

Milliarden Tonnen CO₂ freigesetzt werden. Schon bei den heutigen Emissionen, also ohne weiteren Anstieg, hätten wir dieses Kontingent in weniger als 20 Jahren verbraucht. Diese Zahlen machen deutlich, dass wir uns in einem Wettlauf gegen die Zeit befinden. Mit jedem Jahr, in dem die Emissionen weiter steigen, schwinden die Chancen, die Erwärmung unterhalb unserer Zielmarke – 2 Grad Celsius – zu halten.

Vor 150 Jahren haben TYNDALLS Messungen gezeigt, dass CO₂ Wärmestrahlung einfängt und so das Klima aufheizt. Seit 50 Jahren wissen wir, dass wir die CO₂-Menge in der Luft nach oben treiben. Seit Jahrzehnten schreitet die Erwärmung wie vorhergesagt voran. Wie lange werden wir noch zaudern?

Schriften

ARCHER, D. (2006): Global Warming: Understanding the Forecast. Blackwell, 256 Seiten. [ARRHENIUS, S. \(1896\): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. – The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 5: 237–276.](#) [BROECKER, W.S. \(1975\): Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? – Science, 189: 460–463.](#) [EDENHOFER, O., CARRARO, C., KOEHLER, J., GRUBB, M. \(2006\): Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation. – A Special Issue of The Energy Journal, Vol. 27, International Association of Energy Economics, USA.](#) [EMANUEL, K. \(2005\): Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. – Nature, 436: 686–688.](#) [KEELING, C.D. \(1960\): The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. – Tellus, 12: 200–203.](#) [MANN, M.E. et al. \(2008\): Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105: 13252–13257.](#) [WBGU \(2003\): „Über Kyoto hinaus denken“. – Sondergutachten, www.wbgu.de.](#) [WBGU \(2006\): „Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer“. – Sondergutachten, www.wbgu.de.](#) [TYNDALL, J. \(1859\): Note on the Transmission of Radiant Heat through Gaseous Bodies. – Proceedings of the Royal Society of London, 10: 37–39.](#) [SAWYER, J. \(1972\): Man-made Carbon Dioxide and the “Greenhouse” Effect. – Nature, 239: 23–26.](#) [STERN, N. et al. \(2006\): The Economics of Climate Change – The Stern Review \(HM Treasury, London\).](#)

Verfasser
 Prof. Dr. Stefan Rahmstorf
 Universität Potsdam und
 Potsdam-Institut für
 Klimafolgenforschung
 Abteilung Erdsystemanalyse
 Telegraphenberg A 62,
 D-14473 Potsdam