

beiter der zivilen Luftfahrt ebenfalls zu den beruflich strahlenexponierten Personen. In der Schweiz tragen 76.000 beruflich exponierte Personen bei ihrer Arbeit persönliche Dosimeter, deren akkumulierte Dosis monatlich ermittelt und zentral vom *Bundesamt für Gesundheit* (BAG) erfasst wird. In Deutschland ist hierfür das Strahlenschutzregister beim *Bundesamt für Strahlenschutz* (BfS) in München zuständig. BAG und BfS betreiben automatische Messnetze, um sowohl kurzfristige Veränderungen (z. B. Strahlenunfälle) als auch die jährliche Gesamtexposition der Bevölkerung zu erfassen. Darüber hinaus werden kontinuierlich Proben von Aerosolen, Niederschlägen und fließenden Gewässern untersucht. Von Erde, Gras, Milch und Lebensmitteln werden in unregelmäßigen Abständen Stichproben entnommen. Ganzkörpermessungen zeigen die kumulative Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung. Zusätzlich wird der  $^{90}\text{Sr}$ -Gehalt in Milchzähnen und Wirbelknochen untersucht. Die so erstellten Messreihen zeigen seit Mitte der 1960er Jahre (d. h. seit dem Abbruch der oberirdischen Kernwaffenversuche durch die USA und die UDSSR) einen steten Abwärtstrend. Anders als in der Ukraine, Weißrussland und den angrenzenden Gebieten hat die Katastrophe von Tschernobyl 1986 diesen Abwärtstrend in Deutschland und der Schweiz nicht unterbrochen.

### Internet-Ressourcen

Auf unserer Lehrbuch-Homepage ([www.public-health-kompakt.de](http://www.public-health-kompakt.de)) finden Sie Hinweise auf weiterführende Literatur, zusätzliche Abbildungen sowie Links zu den erwähnten Studien und Institutionen (Bundesamt für Strahlenschutz, BAG, Bafu, WHO, UNSCEAR, ICRP).

## 5.5 Klima

*Claudia Kuehni, Matthias Egger*

Der *Klimawandel* stellt die Menschen und Institutionen, die sich mit der globalen Gesundheit im 21. Jahrhundert beschäftigen, vor neue Herausforderungen. Zum einen führen immer häufiger auftretende Extremereignisse wie Hitzewellen, Stürme und Überschwemmungen zu *direkten Gesundheitsbeeinträchtigungen*. Andererseits kann es durch ökologische Veränderungen und soziale Instabilität zu einer *indirekten Beeinflussung der Gesundheit* kommen. So führen schon jetzt klimatische Veränderungen in bestimmten Gebieten der Erde zu akuten Nahrungsmittelknappheiten. Infolge des Hungers sind die Menschen in ihrer Abwehr geschwächt und können dadurch leichter Infektionskrankheiten zum Opfer fallen.

In diesem Abschnitt erörtern wir die physikalischen Grundlagen des Klimawandels und gehen anschließend auf die ökologischen und gesundheitlichen Folgen ein. Schließlich beschreiben wir die wichtigsten politischen Aspekte dieses Themas einschließlich der Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen.

Schweizerische Lernziele: CPH 45

### 5.5.1 Natürliche und anthropogene Klimaveränderung

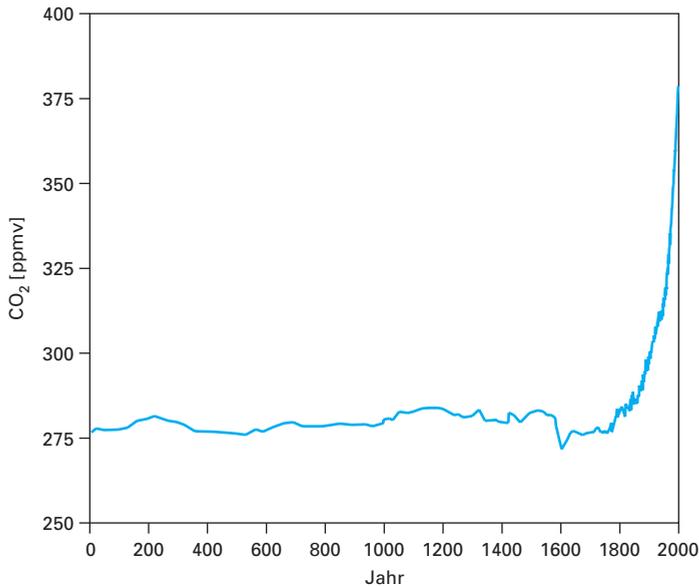
Seit der Entstehung der Erde verändert sich ihr Klima. Beeinflusst wird es v.a. durch die elliptische Umlaufbahn der Erde um die Sonne und die Schiefe der Erdachse gegenüber der Erdbahn. Dadurch kommt es in regelmäßigen Abständen zu einem Wechsel von Warm- und Kaltzeiten (*Milanković-Zyklen*). Andere natürliche Ursachen von Klimaschwankungen sind Veränderungen der Sonnenaktivität sowie die Kontinentalverschiebung und der Vulkanismus auf der Erde. Diese natürlichen Faktoren führten in den vergangenen 1.000 Jahren jedoch nur zu einer Schwankung der globalen Durchschnittstemperatur um kaum mehr als 1°C. Seit den 1970er Jahren beobachtet man nun eine Erwärmung der Atmosphäre, die mit natürlichen Klimaschwankungen nicht mehr erklärbar ist. Betrachtet man die globalen Jahrestemperaturen seit Beginn der Temperaturmessungen Mitte des 19. Jh., dann waren die Jahre 2005 und 2010 die bis 2011 wärmsten Jahre. Die globale Durchschnittstemperatur nahm von 1906 bis 2005 um 0,74°C zu. In der Schweiz stieg die Durchschnittstemperatur um 1,5°C an, in Deutschland um 0,9°C (1901 bis 2007). Hauptursache dieser anthropogenen Klimaerwärmung ist die Verstärkung des Treibhauseffekts durch umfangreiche Waldrodungen und den Ausstoß von Treibhausgasen.

#### Mechanismus der anthropogenen Klimaerwärmung

Die Temperatur auf der Erdoberfläche ist in erster Linie von der Sonnenstrahlung abhängig. Wie jeder feste Körper sendet die Erde ihrerseits Infrarotstrahlung in den Weltraum. Ein Teil dieser Infrarotstrahlung wird durch die in der Atmosphäre enthaltenen *Treibhausgase* reflektiert und zur Erde zurück gelenkt. Dieser natürliche Effekt hebt die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche von -18°C auf +15°C an und ermöglicht so das Leben auf der Erde. Die wichtigsten natürlichen Treibhausgase sind Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Ozon (O<sub>3</sub>). Messungen an Eisbohrkernen zeigen, dass sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre während der letzten 800.000 Jahre zwischen 180 und 300 ppmv (ppmv = **parts per million by volume**) bewegte. Seit etwa 1850 zeigt sich ein deutlicher Anstieg. Heute beträgt die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre mehr als 380 ppmv (Abb. 5.7). Ähnlich eindrücklich war der Anstieg in den letzten Jahrzehnten bei Methan und Lachgas.

Das wichtigste anthropogene Treibhausgas CO<sub>2</sub> entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Herstellung von Zement. Weltweit werden hierdurch 77% der Treibhausgas-Emissionen verursacht, in Deutschland und der Schweiz sind es 85%. Weitere bedeutende anthropogene Treibhausgase sind Methan (14%) und Lachgas (8%), die v.a. als Folge der Viehhaltung im Rahmen einer intensivierten Landwirtschaft frei werden. Nur an etwa 1% der Emissionen sind synthetische Treibhausgase beteiligt. Da Methan, Lachgas und synthetische Treibhausgase ein wesentlich größeres Erwärmungspotenzial als CO<sub>2</sub> haben, ist ihr Anteil am so genannten Strahlungsantrieb jedoch beträchtlich. Als Strahlungs- oder Klimaantrieb bezeichnet man jeden Einfluss auf das Klimasystem, der zu einer Klimaänderung beitragen kann.

Anthropogene Treibhausgase wurden in den vergangenen Jahrzehnten mehrheitlich von den Industrienationen produziert, die Auswirkungen der Klimaveränderung zeigen sich jedoch schon heute vorwiegend in Afrika und Asien. Aber auch in Europa sind Gesundheitsfolgen bereits nachweisbar.



**Abb. 5.7:** Änderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 2000 Jahren. Die der Abbildung zugrunde liegenden Daten basieren auf der Untersuchung von Eisbohrkernen, Firneis von Law Dome und der Antarktis sowie auf atmosphärischen Messungen (Quelle: modifiziert nach MacFarling Meure C et al. The Law Dome CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Ice Core Records Extended to 2000 years BP. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L14810, doi: 10.1029/2006GL026152, 2006).

### 5.5.2 Klimatische und ökologische Folgen des Klimawandels

Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf **Atmosphäre** und **Hydrosphäre** (= ober- und unterirdische Wasservorkommen) der Erde gehören:

- die Erhöhung des atmosphärischen Wasserdampfgehaltes
- der Anstieg der Meeresspiegel (um 3 cm/10 Jahre)
- das Abschmelzen der Gebirgsgletscher, die Abnahme der Schneebedeckung sowohl auf der Nord- als auch auf der Südhalbkugel und das Schmelzen der Eisschilde der Antarktis und auf Grönland
- regional unterschiedliche Veränderungen der Niederschläge (Zunahme in Nord-europa und Nordamerika, Reduktion im Mittelmeerraum, der Sahelzone und im südlichen Afrika; s. a. Kap. 5.1)
- die Zunahme von Extremereignissen, wie z.B. Hitzewellen, Starkregen, Überschwemmungen und Wirbelstürmen

Auch auf die **Biosphäre** wirkt sich der Klimawandel in vielfältiger Weise aus. Von Bedeutung sind hier u. a. die Versauerung der Ozeane durch eine verstärkte CO<sub>2</sub>-Aufnahme sowie die Zunahme von Hitze- und die Abnahme von Kältephasen. Dies trägt nicht nur zu Veränderungen in den Ökosystemen bei, durch die die Artenvielfalt

schwindet. Es kommt auch zu einer Netto­reduktion der globalen landwirtschaftlichen Produktion (Reduktion in Tropen, leichte Erhöhung in der nördlichen Hemisphäre). Darüber hinaus ändern sich bereits jetzt die Verbreitungsgebiete von Krankheitserregern, ebenso die Infektiosität der Erreger (vgl. Kap. 8.3).

### 5.5.3 Gesundheitsfolgen

Die *Gesundheitsfolgen der Klimaerwärmung* lassen sich untergliedern in

- **direkte (primäre) Folgen**
  - erhöhte Mortalität und Morbidität durch eine Zunahme der Extremereignisse wie Hitzewellen, Stürme, Überschwemmungen, Waldbrände
- **indirekte (sekundäre und tertiäre) Folgen**
  - ökologisch bedingt: reduzierte Nahrungsmittelversorgung als Folge von Dürren oder Überschwemmungen, Zunahme von Infektionskrankheiten und Allergien in vielen Gebieten (s. u.)
  - sozial bedingt: Hungersnöte, Kriege, Flüchtlingswellen, Entwicklungsstagnation in den betroffenen Gebieten

### Globale Gesundheitsfolgen

Die Folgen der Klimaerwärmung auf die globale Gesundheit sind in Tab. 5.5 zusammengestellt.

### Gesundheitsfolgen für die Schweiz und Deutschland

Die auffälligste klimabedingte Gesundheitsfolge ist hierzulande eine *erhöhte Mortalität während der nun häufiger auftretenden Hitzewellen*. Oberhalb eines regional unterschiedlichen Schwellenwertes sind Mortalitätskurven temperaturabhängig. Pro °C kann es zu einem Anstieg der Mortalität um 0,2% bis 5,5% kommen. So führte die Hitzewelle im Jahr 2003 in der Schweiz z. B. zu 1.000, in Deutschland zu 7.000 zusätzlichen Todesfällen, ohne dass danach eine Phase erniedrigter Mortalität folgte. Die Zahl lag damit höher als die der Verkehrstoten in diesem Jahr (vgl. Kap. 7.8.1). Lange Hitzewellen (> 5 Tage) haben dabei einen stärkeren Effekt als kurze. Betroffen sind v. a. ältere Menschen und Kleinkinder, Kranke sowie Personen, die bestimmte Medikamente (z. B. Diuretika) einnehmen, Menschen mit niedrigem Einkommen und sozial isolierte Personen. Durch einen Rückgang der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit im Beruf führen Hitzewellen auch zu ökonomischen Einbußen. Unklar ist bisher, wie rasch sich die Menschheit an höhere Temperaturen anpassen kann.

Auch die häufigere Zahl an *Überschwemmungen, Murgängen (Schlamm- und Gerölllawinen) und Stürmen* führt zu zusätzlichen Todesfällen, Verletzungen und psychischen Beeinträchtigungen. Zwar sind solche Todesfälle seltener als die infolge von Hitzewellen, die verlorenen Lebensjahre (DALYs; vgl. Kap. 9.1.2) bewegen sich bei beiden Ursachen aber in einer ähnlichen Größenordnung, da bei den Extremereignissen oft auch jüngere Menschen betroffen sind.

Durch höhere Umgebungstemperaturen vermehren sich Erreger in Lebensmitteln schneller. Entsprechend häufiger kann es auch bei uns zu Lebensmittelvergiftungen,

**Tab. 5.5:** Direkte und indirekte Gesundheitsfolgen des Klimawandels auf die globale Gesundheit.

Ursachen	Gesundheitsfolgen
<b>Direkte (primäre) Folgen</b>	
Mehr Hitzewellen, weniger Kältetage	Erhöhtes Risiko für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitzebedingte Sterblichkeit, insbesondere bei älteren Menschen, Kleinkindern, chronisch Kranken und gesellschaftlich Isolierten</li> <li>• Rückgang kältebedingter Sterblichkeit (kompensiert die Zahl der Hitzetoten nicht)</li> </ul>
Zunahme von Extremereignissen (Starkregen, Stürme, Überschwemmungen)	Erhöhtes Risiko für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todesfälle und Verletzungen</li> <li>• Wasser- und nahrungsmittelübertragene Krankheiten</li> <li>• Posttraumatische Belastungsstörungen</li> <li>• Infektions-, Atemwegs- und Hauterkrankungen</li> </ul>
<b>Indirekte (sekundäre) Folgen, vermittelt durch ökologische Veränderungen</b>	
Ausbreitung von Dürregebieten, Reduktion der landwirtschaftlichen Produktivität, verändertes Verbreitungsgebiet und veränderte Infektiosität von Krankheitserregern und Vektoren	Erhöhtes Risiko für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nahrungsmittel- und Wasserknappheit; Mangel- und Fehlernährung; kindliche Entwicklungsverzögerungen</li> <li>• Krankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden</li> <li>• Infektionskrankheiten (v. a. armutsassoziiert): Durchfälle, Malaria, Dengue-Fieber</li> </ul>
<b>Indirekte (tertiäre) Folgen, vermittelt durch vermehrte soziale Instabilität</b>	
Zunahme von Kriegen, Flüchtlingsströmen und Hungersnöten, Entwicklungsstagnation in den betroffenen Gebieten	Erhöhtes Risiko für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todesfälle, Verletzungen</li> <li>• Alle armutsbedingten Krankheiten</li> <li>• Posttraumatische Belastungsstörungen</li> </ul>

z. B. durch Salmonellen und Kolibakterien, kommen. Die Infektionshäufigkeit an Krankheiten, die durch *Lebensmittel und Wasser übertragen* werden, steigt in der Regel linear mit der mittleren Jahrestemperatur an.

Die Klimaerwärmung kann infolge höherer Ozonkonzentrationen sowie steigender Konzentrationen an biogenen Luftpartikeln (z. B. Pollen und Pilzsporen) auch zu einer Zunahme an *Atemwegserkrankungen* und *Allergien* führen.

In Mitteleuropa sind Krankheiten, die von Tieren über Vektoren auf den Menschen übertragen werden, auf dem Vormarsch. Ein Beispiel hierfür ist das West-Nil-Fieber in der Camargue, in Griechenland und Rumänien. Höhere Temperaturen könnten jedoch auch dazu führen, dass Tiere zu Krankheitsüberträgern werden, die es bislang nicht waren, oder dass es zu einem Wirtewechsel – auch auf den Menschen – kommt. Da Zecken eine bestimmte Temperatur und Luftfeuchtigkeit benötigen, um sich zu vermehren, haben sich ihre Verbreitungsgebiete und ihr Aktivitätszeitraum in Europa in den letzten Jahren ausgeweitet. Gleichzeitig wurde das Freizeitverhalten der Menschen durch den Temperaturanstieg beeinflusst. Man geht daher davon aus, dass auch die In-

fektionsraten an zeckenübertragenen Krankheiten zunehmen werden. Schon heute (2011) beobachtet man in Europa eine Zunahme der gemeldeten Zeckenzephalitisfälle (vgl. Kap. 8.3)

In den gemäßigten Gebieten kann die Klimaänderung jedoch auch Gesundheitsvorteile mit sich bringen, wie etwa einen Rückgang bei der Zahl der Kältetoten. Kälteperioden mit signifikant erhöhter Sterblichkeit sind aber bereits heute sehr selten. Hier sind deshalb keine großen Veränderungen zu erwarten. Der Gesamteffekt der Klimaerwärmung auf die Gesundheit der Menschen ist damit negativ – sowohl in Europa wie auch weltweit.

### Globale Verteilung der Gesundheitsfolgen

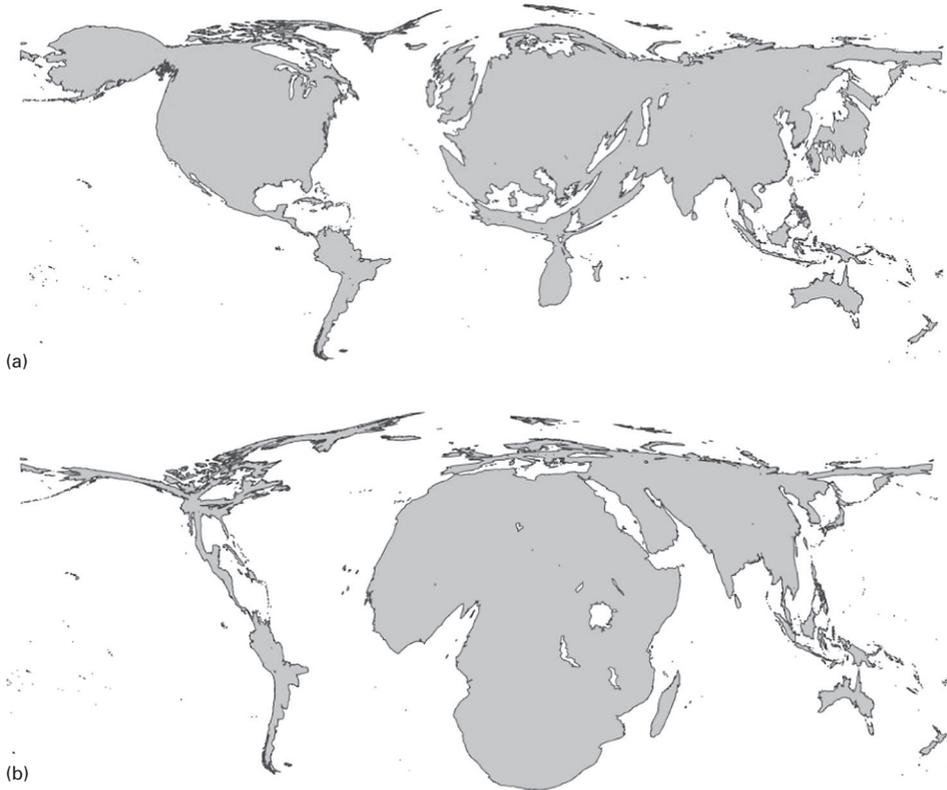
Während die Treibhausgase in den vergangenen Jahrzehnten größtenteils in den westlichen Industrienationen produziert wurden, konzentrieren sich Gesundheitsfolgen und ökonomische Folgen auf die so genannten Entwicklungsländer. Die Klimaerwärmung verstärkt die dort bereits bestehenden Gesundheitsrisiken noch weiter. Insbesondere arme und gefährdete Regionen und Personengruppen werden bevorzugt betroffen. Dieser Effekt ist auch innerhalb einzelner Regionen zu beobachten. In Europa wird z. B. eine Verstärkung des Nord-Süd-Gefälles als Folge des Klimawandels erwartet. Laut WHO betrug die auf die Klimaerwärmung zurückzuführende Krankheitslast (*Burden of disease*) im Jahr 2000 für Afrika 3.072, für Südostasien 1.704, für den östlichen Mittelmeerraum 1.587, für Südamerika und die Karibik 189, für den Westpazifik 111 und die so genannten entwickelten Länder 9 DALYs pro 1 Million Einwohner (Abb. 5.8).

#### 5.5.4 Klimapolitik

Das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie gegründet. Seine Hauptaufgabe ist es, die Risiken der globalen Erwärmung zu beurteilen und Strategien zu Bekämpfung der Klimaerwärmung aufzuzeigen. Zusammenfassungen der Forschungsergebnisse erscheinen etwa alle sechs Jahre, zuletzt 2007. Im Jahr 2013 soll der fünfte Sachstandsbericht erscheinen.

*Emissionsszenarien* der IPCC sagen für die nächsten zwei Jahrzehnte eine Erwärmung von 0,2 °C pro Jahrzehnt voraus. Aufgrund von Rückkopplungsprozessen ist selbst bei einer Stabilisierung der Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen auf dem Niveau des Jahres 2000 eine weitere Erwärmung um 0,1 °C pro Jahrzehnt zu erwarten, sodass die Klimaänderungsprozesse (z. B. der Anstieg der Meeresspiegel) auch im günstigsten Szenario noch Jahrhunderte andauern werden.

Die *Klimarahmenkonvention* (UNFCCC) der Vereinten Nationen wurde 1992 als völkerrechtlich verbindliche Regelung zum Klimaschutz verabschiedet und von den meisten Staaten der Erde unterschrieben. Ihr Ziel ist eine Emissionsminderung bei allen Treibhausgasen. Die Schweiz hat sich mit der Unterzeichnung des darauf basierenden Kyoto-Protokolls von 1997 verpflichtet, ihre klimarelevanten Treibhausgasemissionen in einem ersten Schritt bis zum Zeitraum 2008/2012 gegenüber dem Stand von 1990 um 8% zu reduzieren. Dieses Ziel, das durch eine 10%ige Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes (CO<sub>2</sub>-Gesetz) erreicht werden sollte, wird die Schweiz jedoch voraussichtlich verfehlen.



**Abb. 5.8:** (a) Verzernte Darstellung der Erdoberfläche entsprechend dem Wert der dort freigesetzten kumulativen Emissionen von Treibhausgasen; einbezogen wurden Werte bis zum Jahr 2002; (b) Verzernte Darstellung der Erdoberfläche entsprechend dem Wert der dortigen Mortalität, der im Jahr 2000 durch den Klimawandel verursacht wurde (Quelle: WHO. Protecting Health From Climate Change: Connecting Science, Policy and People. Geneva: World Health Organization, 2009).

Deutschland verpflichtete sich mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls zu einer Reduktion seiner Treibhausgas-Emissionen um 21%. Das Ziel wurde bereits 2007 erreicht. Es strebt darüber hinaus an, seine Emissionen bis zum Jahr 2020 um 40% zu senken. Voraussetzung ist jedoch, dass die EU ihre Emissionen im selben Zeitraum um 30% reduziert.

Um eine weitere Erwärmung der Erde in den nächsten 100 Jahren gegenüber heute auf 2°C zu begrenzen (= der aktuell „politisch tolerable“ Grad der Erwärmung), wäre ein breiter Einsatz von umwelt- und ressourcenschonenden Technologien vonnöten. Hierzu gehören die Verbesserung der Energieeffizienz von Heizungen und elektrischen Geräten, die Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energiequellen, die CO<sub>2</sub>-Speicherung beim Betrieb fossiler Kraftwerke und die Aufforstung breiter Landstriche. Bis zum Jahr 2011 kam es bereits zu einer globalen Erwärmung um 0,7°C. Aufgrund ihres wirtschaftlichen Aufstiegs tragen mittlerweile auch die so genannten ‚Schwellenländer‘ (*Newly Industrialized Countries*) wie z. B. China, Indien, Brasilien immer mehr zur Kli-

maerwärmung bei. Ohne Umsetzung der genannten Maßnahmen droht langfristig ein Anstieg um mehr als 4°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau. Doch selbst eine Erwärmung um 2°C würde vulnerable Ökosysteme wie die Arktis, kleine Inselstaaten oder Wald- und Trockengebiete zerstören und den dort lebenden indigenen Völkern ihre Lebensgrundlage nehmen.

### Internet-Ressourcen

Auf unserer Lehrbuch-Homepage ([www.public-health-kompakt.de](http://www.public-health-kompakt.de)) finden Sie Hinweise auf weiterführende Literatur zusätzliche Abbildungen und Tabellen sowie Links zu den erwähnten Studien und Institutionen (wie z. B. dem IPCC).