

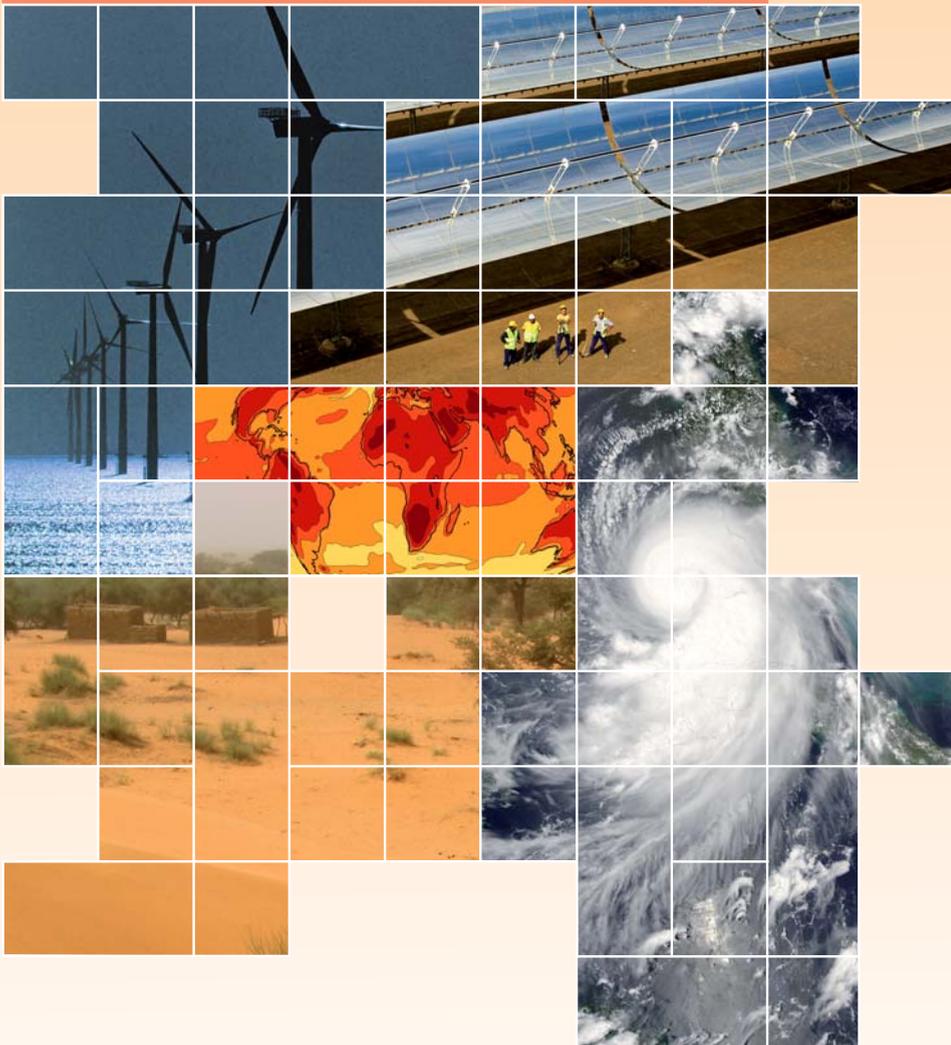
**WBGU**

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG  
GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN



# Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz

Sondergutachten



# Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

(Stand: 1. November 2008)

*Prof. Dr. Hans Joachim Schellnhuber CBE (Vorsitzender), Physiker*

Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und Visiting Professor der Oxford University (Fachbereich Physik und Christ Church College)

*Prof. Dr. Dirk Messner (stellv. Vorsitzender), Politikwissenschaftler*

Direktor des Deutschen Instituts für Entwicklungspolitik, Bonn

*Prof. Dr. Claus Leggewie, Politikwissenschaftler*

Direktor des Kulturwissenschaftlichen Instituts Essen, Forschungskolleg der Universitätsallianz Metropole Ruhr

*Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Geobiologe und Geologe*

Generaldirektor des Museum für Naturkunde Berlin, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung

*Prof. Dr. Nebojsa Nakicenovic, Systemanalytiker und Energiewirtschaftler*

Professor für Energiewirtschaft, Technische Universität Wien (TU Wien) und Deputy Director, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Österreich

*Prof. Dr. Stefan Rahmstorf, Physiker*

Leiter der Abteilung Klimasystem am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Professor für Physik der Ozeane an der Universität Potsdam

*Prof. Dr. Sabine Schlacke, Juristin*

Direktorin der Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht und Professorin für deutsches, europäisches und internationales Umweltrecht, Universität Bremen

*Prof. Dr. Jürgen Schmid, Ingenieur für Luft- und Raumfahrttechnik*

Vorstandsvorsitzender und wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Solare Energieversorgungstechnik, Kassel und Professor für Elektrotechnik/Informatik an der Universität Kassel

*Prof. Dr. Renate Schubert, Ökonomin*

Direktorin des Instituts für Umweltentscheidungen an der ETH Zürich, Schweiz



**WBGU**

---

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG  
GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN

# **Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz**

## **Sondergutachten**

**Berlin 2009**

ISBN 978-3-936191-26-4

Das diesem Bericht zu Grunde liegende F&E-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Kennzeichen 01RI0708AA durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons-Lizenz lizenziert. Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts bleiben hiervon unberührt. Das Werk darf vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, vorausgesetzt, der Rechteinhaber wird ordnungsgemäß zitiert und das Werk nicht für kommerzielle Zwecke verwendet. Dieses Werk darf nicht bearbeitet oder in anderer Weise verändert werden. Details sind der Website <http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/> zu entnehmen (Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung-Lizenz (by-nc-nd)).



Titelbilder:

Windpark Horns Rev im Abendlicht (©Vestas Central Europe), Solarthermisches Parabolrinnen-Kraftwerk Andasol 1 im südspanischen Andalusien (Solar Millennium AG/Paul-Langrock.de), Muster der Oberflächenerwärmung (Grafik Michael Böttinger, DKRZ/Simulation MPI für Meteorologie), Satellitenbild Hurrikan Katrina (NASA/Jeff Schmaltz, MODIS Land Rapid Response Team), Desertifikation in Burkina Faso (Benno Pilardeaux, WBGU)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG

GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU)

Geschäftsstelle

Reichpietschufer 60–62

10785 Berlin

Tel.: 030 263948 0

Fax: 030 263948 50

Email: [wbg@wbgu.de](mailto:wbg@wbgu.de)

Web: <http://www.wbgu.de>

Redaktionsschluss: 09.07.2009

Gedruckt auf umweltfreundlichem, FSC-zertifiziertem Papier *Novatech satin*

---

# Mitarbeiter des Beirats und Danksagung

Dieses Sondergutachten beruht auch auf der sachkundigen und engagierten Arbeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Geschäftsstelle sowie bei den Beiratsmitgliedern.

## **Wissenschaftlicher Stab der Geschäftsstelle**

Dr. Inge Paulini  
(Generalsekretärin)

Dr. Carsten Loose  
(Stellvertretender Generalsekretär)

Dr. Karin Boschert

Rüdiger Haum

Dr. Benno Pilardeaux  
(Medien- und Öffentlichkeitsarbeit)

Dr. Astrid Schulz

Dr. Birgit Soete

## **Sachbearbeitung, Lektorat und Sekretariat in der Geschäftsstelle**

Vesna Karic-Fazlic (Sachbearbeitung Finanzen)

Mario Rinn, B.Sc. (Systemadministration)

Martina Schneider-Kremer, M.A. (Lektorat)

Margot Weiß (Sekretariat)

## **Wissenschaftlicher Stab bei den Beiratsmitgliedern**

Steffen Bauer, M.A. (Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Bonn)

Dipl.-Volksw. Julia E. Blasch (Institut für Umweltentscheidungen, ETH Zürich)

Simone Groß, Ph.D. (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

Dr. Susanna Much (Universität Bremen, Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht)

Alexander Schülke, M.Sc. (Museum für Naturkunde, Berlin)

Dr. Niels B. Schulz (International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich)

Dipl.-Sozialwiss. Bernd Sommer (Kulturwissenschaftliches Institut Essen)

Michael Sterner, M. Sc. (Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Kassel)

Danken möchte der Beirat all jenen Personen, die durch textliche Zuarbeit bzw. Hinweise und Beratung dem WBGU wertvolle Dienste erwiesen haben:

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Veronika Huber, M.Sc., Dr. Malte Meinshausen, Dipl.-Inform. Julia Nabel (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung), Dr. Imme Scholz (Deutsches Institut für Entwicklungspolitik), Prof. Dr. Francisco San Martin (Universidad del Pacifico, Lima, Peru).

Für die Unterstützung bei der Erstellung von Grafiken danken wir Danny Rothe, Design Werbung Druck, Berlin.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Mitarbeiter des Beirats und Danksagung</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellen</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Abbildungen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Kästen</b> .....	<b>X</b>
<b>Zusammenfassung für Entscheidungsträger</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C</b> .....	<b>9</b>
2.1 Klimawandel durch Treibhausgase .....	9
2.2 Klimawirkungen auf die Natur .....	11
2.3 Klimawirkungen auf die Gesellschaften .....	12
2.4 Die 2°C-Leitplanke .....	14
<b>3 Ausmaß und Dringlichkeit des Handlungsbedarfs</b> .....	<b>15</b>
<b>4 Der Gordische Knoten der Klimapolitik</b> .....	<b>17</b>
<b>5 Grundsätze, Spielräume und Meilensteine des WBGU-Budgetansatzes</b> .....	<b>21</b>
5.1 Ethische Grundlagen der internationalen Klimapolitik .....	22
5.2 Der Budgetansatz des WBGU .....	22
5.2.1 Der Grundgedanke .....	22
5.2.2 Berechnung nationaler Emissionsbudgets .....	23
5.3 Zwei politische Optionen für die Ausgestaltung des Budgetansatzes .....	25
5.3.1 Option I: „Historische Verantwortung“ .....	25
5.3.2 Option II: „Zukunftsverantwortung“ .....	27
5.4 Institutionelle Umsetzung: Weltklimabank und Weiterentwicklung flexibler Instrumente .....	35
5.5 Finanztransfers im Rahmen des Budgetansatzes .....	36
5.5.1 Finanztransfers für die Vermeidung des Klimawandels: Emissionshandel .....	36
5.5.2 Finanztransfers für Anpassung und Schutz der Wälder: Fonds mit .....	38
Einzahlungsverpflichtung .....	38
5.6 Zehn Gründe für den Budgetansatz .....	39
5.7 Optionen für beschleunigten Klimaschutz und Erweiterungen des Budgetansatzes .....	40
<b>6 Übergang zur klimaverträglichen Gesellschaft</b> .....	<b>43</b>
6.1 Beschleunigung des technologischen Wandels .....	43
6.2 Internationale Kooperationsrevolution .....	47
6.3 Globales Regieren und lokales Handeln: Ein Bündnis von Pionieren des Wandels .....	49
<b>7 Epilog</b> .....	<b>53</b>
<b>8 Literatur</b> .....	<b>55</b>

---

# Tabellen

Tabelle 5.3-1	Option I „Historische Verantwortung“: Zeitraum 1990–2050 .....	26
Tabelle 5.3-2	Option II „Zukunftsverantwortung“: Zeitraum 2010–2050 .....	28

---

# Abbildungen

Abbildung 1	Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO <sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz ohne Emissionshandel . . . . .	4
Abbildung 2	Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO <sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz, die sich durch einen Emissionshandel ergeben könnten . . . . .	5
Abbildung 2.2-1	Zeitliche Entwicklung von Temperatur, Meeresspiegel und Ausdehnung des arktischen Meereises . . . . .	11
Abbildung 2.2-2	Satellitenaufnahmen der arktischen Eisbedeckung September 1979 und September 2007 . . . . .	12
Abbildung 2.2-3	Kippelemente des Klimasystems: Auswahl . . . . .	13
Abbildung 3.2-1	Beispiele für globale Emissionspfade für den Zeitraum 2010–2050, bei denen global 750 Mrd. t CO <sub>2</sub> emittiert werden . . . . .	16
Abbildung 4.1-1	Pro-Kopf-Emissionen von CO <sub>2</sub> im Jahr 2005 differenziert nach Emissionsniveau und Land (ohne Landnutzungsänderungen) . . . . .	19
Abbildung 5.3-1	Summe der fossilen CO <sub>2</sub> -Emissionen von 1990–2009 (bisheriger Verbrauch) und noch zur Verfügung stehende CO <sub>2</sub> -Budgets bis 2050 entsprechend Option I „Historische Verantwortung“ . . . . .	26
Abbildung 5.3-2	Fossile CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2008 (Schätzwerte) und zulässiges durchschnittliches Jahresbudget entsprechend der Option II „Zukunftsverantwortung“ . . . . .	28
Abbildung 5.3-3	Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe für Indien, die mit dem Budget vereinbar wären. . . . .	30
Abbildung 5.3-4	Beispiele für theoretische Pro-Kopf-Emissionsverläufe ausgewählter Länder nach dem Budgetansatz ohne Emissionshandel . . . . .	31
Abbildung 5.3-5	Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO <sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz . . . . .	32

---

# Kästen

Kasten 2.1-1	Strahlungsantrieb und Klimasensitivität . . . . .	9
Kasten 4.1-1	Wie ein scheinbar ordentliches Verhandlungsergebnis in Kopenhagen die 2°C-Leitplanke durchbrechen könnte . . . . .	18
Kasten 5.2-1	Mathematische Beschreibung des Budgetansatzes . . . . .	24
Kasten 5.3-1	Herleitung des Gesamtbudgets für Option I . . . . .	25
Kasten 5.3-2	Herleitung des Gesamtbudgets für Option II . . . . .	27
Kasten 5.7-1	Minderung von CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Entwaldung und Landnutzungsänderungen . . . . .	40
Kasten 5.7-2	Fluorierte Treibhausgase . . . . .	41
Kasten 5.7-3	Kurzlebige klimawirksame Stoffe . . . . .	41
Kasten 6.1-1	Umbau der Energiesysteme – eine Chance für den Arbeitsmarkt . . . . .	44
Kasten 6.1-2	Technologie-, Politik- und Wissenstransfer im WBGU-Budgetansatz . . . . .	45
Kasten 6.1-3	Beispiel Politiktransfer: Eine weltweite Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien. . . . .	46
Kasten 6.1-4	Beispiel Technologietransfer: transnationale „Super-Smart-Grids“. . . . .	46
Kasten 6.1-5	Beispiel Wissenstransfer: Gemeinsame Forschung und Ausbildung . . . . .	46

# Zusammenfassung für Entscheidungsträger

## EIN NEUER LÖSUNGSANSATZ FÜR DAS WELTKLIMAPROBLEM

Die Wissenschaft ist sich heute weitgehend einig, dass eine Erderwärmung um mehr als 2°C gefährliche, irreversible und kaum beherrschbare Folgen für Natur und Gesellschaft hätte. Bereits 133 Staaten, darunter die 16 führenden Wirtschaftsmächte und die Europäische Union, haben die Bedeutung dieser Temperaturgrenze anerkannt. Viele dieser Staaten haben sich das Ziel, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf 2°C oder weniger zu begrenzen, als Leitplanke für ihre klimapolitischen Anstrengungen gesetzt.

Neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass eine realistische Chance für die Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C nur dann gegeben ist, wenn die Summe der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 limitiert wird (CO<sub>2</sub>-Globalbudget). Der WBGU rückt dieses Globalbudget ins Zentrum seiner Überlegungen zur Gestaltung eines neuen Weltklimavertrags, der auf der 15. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) in Kopenhagen zur Verhandlung ansteht. Der WBGU-Budgetansatz liefert in Verbindung mit fundamentalen Gerechtigkeitsvorstellungen konkrete Zahlen für die jeweiligen Emissionsbegrenzungen, welche die Nationen der Erde auf sich nehmen müssen, um die Destabilisierung des Klimasystems noch zu verhindern.

Im Kioto-Protokoll wurden verpflichtende Emissionsreduktionsziele nur für eine Minorität der Staaten auf willkürliche Weise vereinbart. Die im Vorfeld der Konferenz von Kopenhagen bekannt gewordenen Vorschläge verschiedener Länder und Staatenbündnisse sind nicht wesentlich ambitionierter und dürften in der Summe eine Einhaltung der 2°C-Leitplanke kaum zulassen. Künftig müssen aber nicht nur die Industrieländer, sondern auch die Schwellen- und Entwicklungsländer ihren Treibhausgasausstoß deutlich begrenzen, wenn ein gefährlicher Klimawandel abgewendet werden soll. Zudem wird immer offensichtlicher, dass das explizite Aushandeln individueller Reduktionsverpflichtungen für eine sehr große Zahl von Ländern den derzeitigen Verhandlungsmodus innerhalb der UNFCCC überfordern dürfte.

Mit dem Budgetansatz des WBGU können nicht nur die Minderungsziele der Industrieländer bis 2020 auf eine systematische Grundlage gestellt werden, sondern auch die zunehmenden Dekarbonisierungsanstrengungen, die von den Schwellen- und Entwicklungsländern erbracht werden müssen. Daraus kann ein gemeinsames Verständnis aller Vertragsstaaten über den mittel- und langfristigen Handlungsbedarf zur Umsetzung der UNFCCC erwachsen. Der klimapolitische Lösungsvorschlag des WBGU hat noch weitere Vorzüge: Er schafft ein beachtliches Maß an intertemporaler und interregionaler Flexibilität. Zum einen kann über nationale Treibhausgasbudgets innerhalb des langen Zuweisungszeitraums weitgehend frei verfügt werden, auf der Grundlage weniger Regeln, die für die Einhaltung der nationalen und globalen Dekarbonisierungsziele bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts sorgen. Zum anderen soll ausdrücklich ein intensiver zwischenstaatlicher Handel mit Emissionszertifikaten zwischen allen Ländern zugelassen werden. Aus dieser Flexibilität und aus der Berücksichtigung historischer Verantwortlichkeiten ergeben sich auch verschiedene Möglichkeiten zur Finanzierung von Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen und zur Förderung des Technologietransfers zwischen Industrie- und Entwicklungsländern.

Der Budgetansatz des WBGU kann den Verhandlungen auf dem Klimagipfel in Kopenhagen neue Impulse und Orientierung verleihen. Das Sondergutachten des WBGU skizziert darüber hinaus auf der Grundlage des Budgetansatzes Rahmenbedingungen für eine zukünftige klimaverträgliche Weltwirtschaft und beschreibt institutionelle Erfordernisse. Der WBGU macht zudem deutlich, dass der dringend benötigte Durchbruch in der internationalen Klimapolitik ohne eine starke Führungsbereitschaft einiger Länder nicht gelingen kann.

## DRINGLICHKEIT DES HANDELNS AUS WISSENSCHAFTLICHER PERSPEKTIVE

Neue Erkenntnisse der Klimaforschung verdeutlichen, dass die physikalischen Spielräume für den Schutz der Erdatmosphäre sehr eng geworden sind.

Ein globaler und nationaler „Kassensturz“ ist dringend erforderlich.

- Einige Auswirkungen des Klimawandels schreiten deutlich schneller voran als bislang projiziert, vor allem der Meeresspiegelanstieg.
- Aus der 2°C-Leitplanke lässt sich das weltweit noch verfügbare Budget an CO<sub>2</sub>-Emissionen ableiten. Bis zur Jahrhundertmitte dürfen höchstens noch etwa 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre freigesetzt werden, wenn die Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% eingehalten werden soll. Möchte man diese Wahrscheinlichkeit auf 75% erhöhen, müssen die kumulativen Emissionen im nämlichen Zeitraum sogar unter 600 Mrd. t CO<sub>2</sub> bleiben. Nach 2050 darf in jedem Fall weltweit nur noch eine kleine CO<sub>2</sub>-Menge ausgestoßen werden. Die Ära der von fossilen Energieträgern angetriebenen Weltwirtschaft muss daher noch in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts zu Ende gehen.
- Zur Durchführung eines solch umfassenden Transformationsprozesses müssen markante Meilensteine gesetzt werden: Insbesondere ist eine Trendumkehr („Peaking“) bei den globalen Emissionen bis spätestens 2020 notwendig, da ansonsten im Folgezeitraum Emissionsminderungen in einer Geschwindigkeit erforderlich wären, die die technischen, ökonomischen und sozialen Kapazitäten unserer Gesellschaften weit überfordern dürfte.

Der aktuelle Forschungsstand macht deutlich, dass die Wende zur Nachhaltigkeit keinen Aufschub mehr duldet. Die WBGU-Analyse zeigt explizit, dass mehr als 100 Länder jetzt einen Transformationsprozess einleiten müssen, der ihre Emissionen zunächst rasch stabilisiert, dann signifikant reduziert und schließlich zur vollständigen Dekarbonisierung der relevanten sozioökonomischen Prozesse bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts führt. Nur 65 arme Entwicklungsländer scheinen sich derzeit mit ihren Emissionspfaden noch im klimaverträglichen Bereich zu befinden. Dies verdeutlicht den außerordentlichen Zeitdruck, unter dem die laufenden Klimaverhandlungen stehen und unterstreicht die Breite des notwendigen globalen Transformationsprozesses in Richtung einer klimaverträglichen Weltwirtschaft. Noch stecken diese Verhandlungen in einer Sackgasse, denn kurzfristige nationale Interessen blockieren eine zeitnahe und wirksame weltweite Klimaschutzvereinbarung, die mit der 2°C-Leitplanke vereinbar wäre.

#### KOMPASS FÜR DEN NEUEN WELTKLIMAVERTRAG: DER WBGU-BUDGETANSATZ

Zum anthropogenen Klimawandel tragen eine Reihe von Treibhausgasen und einige andere Faktoren bei. CO<sub>2</sub> aus anthropogenen Quellen muss jedoch wegen

der großen freigesetzten Mengen und der langen Verweildauer in der Umwelt (bis zu Tausenden von Jahren) im Zentrum aller Klimaschutzüberlegungen stehen. Der WBGU-Budgetansatz setzt diese Einsicht konsequent um und konzentriert sich auf die dominierenden fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Für die anderen klimarelevanten Gase und Sektoren werden separate Maßnahmen vorgeschlagen.

Ausgangspunkt des WBGU-Budgetansatzes ist die nach Vorsorgeerwägungen erfolgende Festlegung der Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>, die bis 2050 global noch ausgestoßen werden darf. Dieses globale Budget an kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen gilt es gerecht auf die Länder der Weltgemeinschaft zu verteilen. Den ethisch robustesten Schlüssel bietet eine gleiche Zuweisung pro Kopf, woraus sich über die Bevölkerungszahlen die jeweiligen nationalen Budgets an Emissionsrechten ergeben. Damit verfügt jeder Staat über ein präzise beziffertes „Atmosphärenkapital“, mit dem er bis 2050 flexibel wirtschaften und auf internationalen Märkten handeln kann.

Verschiedene Ausgestaltungen des Budgetansatzes sind möglich. Insbesondere kann über wenige Parameter für die Mengenzuweisung politisch verhandelt werden. Diese sind der Zeitraum, die Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der 2°C-Leitplanke sowie die Bevölkerungszahl. Die vom WBGU favorisierte Umsetzungsoption berücksichtigt zwar die historische Verantwortung der Industrieländer, richtet den Blick jedoch vor allem in die Zukunft: Das zwischen 2010 und 2050 mit der 2°C-Leitplanke verträgliche CO<sub>2</sub>-Gesamtbudget wird über den Pro-Kopf-Schlüssel gleichmäßig auf die Staaten der Erde verteilt, wobei 2010 auch als demographisches Referenzjahr dient (Abb. 1). Damit wird die Verantwortung für die zukünftigen Emissionen den Menschen aller Weltregionen und Länder übertragen. In Anerkennung des Verursacherprinzips wird zusätzlich ein finanzieller Ausgleich zwischen Nord und Süd angestrebt, der sich an den nationalen Unterschieden der Pro-Kopf-Emissionen im Zeitraum zwischen 1990 und 2010 orientiert. Diese Transferleistungen sollten in erster Linie der Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen sowie dem Stopp der Entwaldung in Entwicklungsländern dienen.

Um der Gefahr von CO<sub>2</sub>-Misswirtschaft vorzubeugen, sollten nach Auffassung des WBGU alle Staaten explizite Dekarbonisierungsfahrpläne mit international überprüfbaren Zwischenzielen erstellen. Diese Fahrpläne müssten sich nicht nur an den zugewiesenen CO<sub>2</sub>-Budgets, sondern auch an den tatsächlich gegebenen nationalen Emissionsminderungspotenzialen orientieren. Der Ausgleich zwischen den Emissionsverläufen der Länder gemäß ihrer Dekarbonisierungsfahrpläne und den Referenzprofilen gemäß der zugeteilten Kohlendioxidmengen erfolgt

über einen zwischenstaatlichen Zertifikatehandel und andere flexible Mechanismen.

Der vom WBGU entwickelte Ansatz knüpft an die gemeinsam von Bundeskanzlerin Merkel und dem indischen Ministerpräsidenten Singh formulierte Klimagerechtigkeitsvision einer langfristigen Konvergenz der Pro-Kopf-Emissionsraten an. Für den Zeitraum 2010–2050 entspricht die vom WBGU vorgeschlagene Verteilung des CO<sub>2</sub>-Gesamtbudgets durchschnittlichen Emissionsrechten von etwa 2,7 t CO<sub>2</sub> pro Kopf der Weltbevölkerung im Jahr 2010, die z.T. durch Anwendung der flexiblen Mechanismen zwischen den Staaten umverteilt werden können. Allerdings sollten alle Länder ihre Klimaschutzstrategien tendenziell so anlegen, dass sich gegen Ende des Budgetzeitraums ihre realen Emissionen bei etwa 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr annähern (Abb. 2).

Aufgrund der gegenwärtig eklatanten Differenzen zwischen den Pro-Kopf-Emissionen der Industrie- und der Entwicklungsländer werden Emissionshandel und andere flexible Mechanismen erhebliche Finanz- und Technologietransfers bewirken, die den Anbieterländern attraktive Möglichkeiten für Nachhaltigkeitsinvestitionen eröffnen sollten. Insofern würde die Implementierung des WBGU-Budgetansatzes die klimaverträgliche und nachhaltige Entwicklung weltweit entscheidend fördern. Abbildung 2 skizziert, welche Spielräume eine internationale Klimapartnerschaft unter Nutzung der vorgeschlagenen Mechanismen schaffen würde, und wie die Emissionsprofile der großen Ländergruppen dann aussehen könnten. Der Budgetansatz bietet somit die Chance für einen weltweiten historischen Klimakompromiss.

Im Rahmen des Budgetansatzes müssen alle Ländergruppen große Zugeständnisse machen: Von den Industrieländern werden weitgehende Reduktionsverpflichtungen sowie umfassende Technologie- und Finanztransfers erwartet. Die Schwellen- und Entwicklungsländer müssen ihrerseits akzeptieren, dass eine nachholende wirtschaftliche Entwicklung auf der Basis fossiler Energieträger nicht mehr zukunftsfähig ist, so dass auch sie möglichst rasch den Übergang zu einer klimaverträglichen Gesellschaft einleiten sollten. Allerdings wird ihnen der Weg dorthin über erhebliche Transferleistungen geebnet werden, d.h. sie können einer fossilen Pfadabhängigkeit auf günstige Weise entkommen. Alle Länder profitieren gemeinsam davon, dass sie einen nicht mehr beherrschbaren Klimawandel mit seinen desaströsen Folgen und Kosten vermeiden.

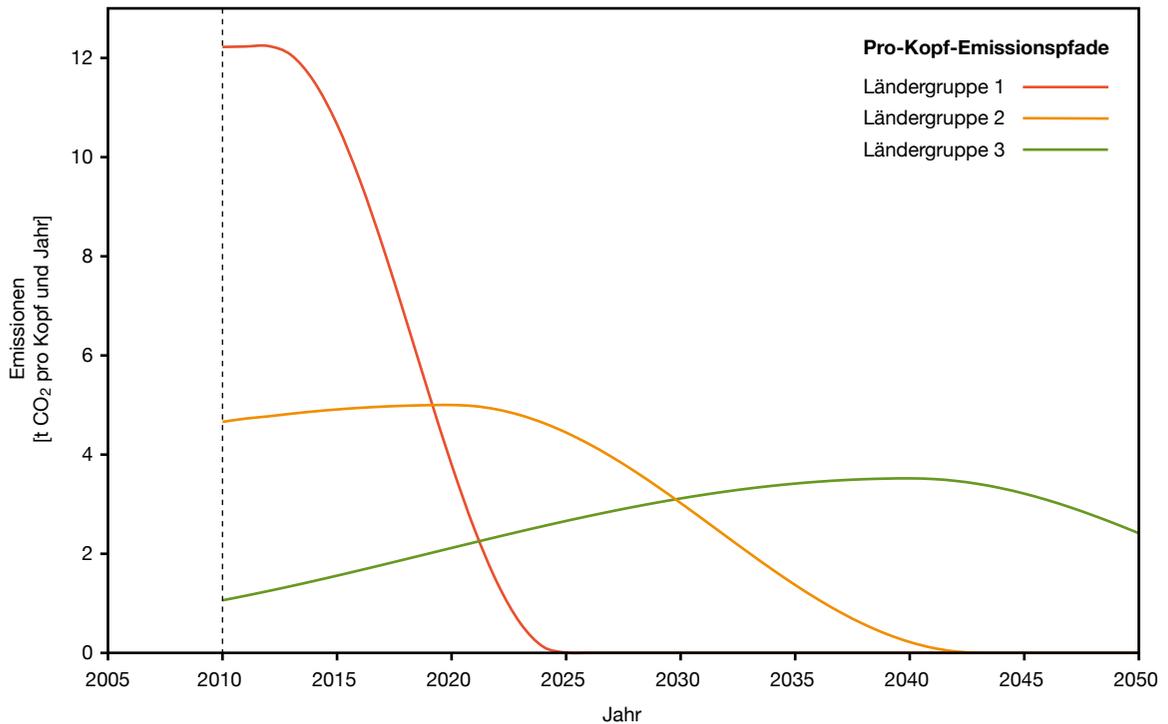
Der WBGU verdeutlicht, wie der internationale Klimaschutz mit einer globalen Entwicklungspartnerschaft zwischen „Hochemissions-“ und „Niedrigemissionsländern“ verknüpft werden kann. Dabei wird auch sichtbar, dass Indien zu einem Schlüssel-

akteur eines Weltklimavertrages im Geiste des Budgetansatzes werden könnte. Indien kann aufgrund noch relativ niedriger Pro-Kopf-Emissionen trotz hohen Wirtschaftswachstums einen langsameren Transformationsprozess in Richtung einer klimaverträglichen Wirtschaft entwickeln als z.B. China. China muss auf Grund seiner heute höheren Pro-Kopf-Emissionen eine anspruchsvolle Dekarbonisierungsstrategie entwickeln und umsetzen. Es sollte im Interesse der Industrieländer liegen, China durch partnerschaftliche Zusammenarbeit zu unterstützen, damit China nicht zu einem Hauptnachfrager von Emissionszertifikaten wird.

#### DIE EMPFEHLUNGEN IM EINZELNEN

Der WBGU-Budgetansatz soll der internationalen Klimaschutzpolitik mittel- und langfristig als Kompass und Orientierungsrahmen dienen. Der WBGU schlussfolgert aus seinen Analysen, dass sich die UNFCCC-Vertragsstaaten in Kopenhagen auf folgende Richtungsentscheidungen einigen müssten:

- Die *2°C-Leitplanke* wird völkerrechtlich verbindlich festgeschrieben.
- Für Kohlendioxid, dem im Klimaschutz die langfristig entscheidende Rolle zukommt, wird ein mit der *2°C-Leitplanke* kompatibles *globales Emissionsbudget* aus fossilen Quellen bis zum Jahr 2050 verbindlich vereinbart.
- Folgende *Meilensteine* werden gesetzt: (1) Die Trendumkehr der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitraum 2015–2020. (2) Die Rückführung der globalen Emissionen bis zur Jahrhundertmitte auf ein Niveau, das mit dem schmalen Emissionsbudget nach 2050 konsistent ist.
- Das globale CO<sub>2</sub>-Budget wird auf Pro-Kopf-Basis gleichmäßig auf die Weltbevölkerung aufgeteilt, so dass sich für alle Länder *nationale CO<sub>2</sub>-Budgets* berechnen lassen. Sie werden ebenfalls verbindlich festgeschrieben und bilden den Orientierungsrahmen dafür, wie schnell und stark die Länder ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren müssen.
- Alle Länder verpflichten sich, international und objektiv überprüfbare *Dekarbonisierungsfahrpläne* vorzulegen, die über den geplanten nationalen Emissionspfad bis 2050 Auskunft geben. Diese Fahrpläne sollen sich neben den nationalen CO<sub>2</sub>-Budgets auch an den nationalen Emissionsminderungspotenzialen orientieren.
- Zusätzlich werden für die Länder mit gegenwärtig hohen Pro-Kopf-Emissionen *Reduktionsverpflichtungen bis 2020* vereinbart, um eine Verschleppung der Dekarbonisierungsanstrengungen zu verhindern.
- Es werden *flexible Mechanismen* (internationaler Emissionshandel und Joint Implementation) sowie angemessene zusätzliche Finanz- und Tech-



**Abbildung 1**

Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz ohne Emissionshandel. Sie erlauben zwar eine Einhaltung der nationalen Budgets, würden aber z.T. in der Praxis nicht umsetzbar sein. Die Ländergruppen ordnen sich nach den jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf aus fossilen Quellen, wobei die CO<sub>2</sub>-Emissionen Schätzungen für das Jahr 2008 und die Bevölkerungszahlen Schätzungen für das Jahr 2010 sind. *Rot*: Ländergruppe 1 (>5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), vor allem Industrieländer (z.B. EU, USA, Japan), aber auch ölexportierende Länder (z.B. Saudi-Arabien, Kuwait, Venezuela) und wenige Schwellenländer (z.B. Südafrika, Malaysia). *Orange*: Ländergruppe 2 (2,7–5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), hier finden sich viele Schwellenländer (z.B. China, Mexiko, Thailand). *Grün*: Ländergruppe 3 (<2,7 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), vor allem Entwicklungsländer (z.B. Burkina Faso, Nicaragua, Vietnam), aber auch einige große Schwellenländer (z.B. Indien, Brasilien).

Quelle: WBGU

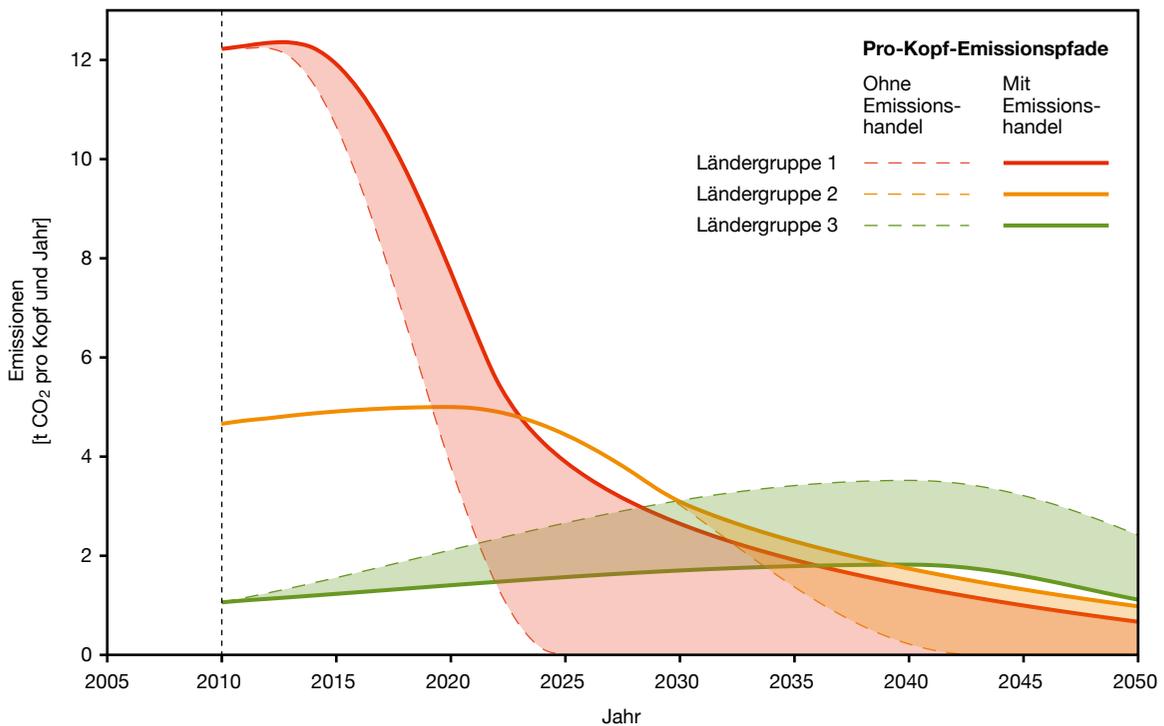
nologietransferleistungen der Industrieländer vereinbart.

- Es wird beschlossen, eine *Weltklimabank* zu gründen, die für die Überprüfung der nationalen Dekarbonisierungsfahrpläne auf Plausibilität und Umsetzbarkeit sowie für die Operationalisierung der flexiblen Mechanismen und Transferleistungen zuständig ist.
- Über die *separate Regulierung von CO<sub>2</sub> aus nicht fossilen Quellen, der anderen relevanten Treibhausgasen und weiterer treibhauswirksamer Stoffe* eröffnen sich Spielräume für eine schnelle Gesamtminimierung klimaschädlicher Emissionen. Dafür werden folgende Vereinbarungen getroffen: (1) Zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Entwaldung sowie Landnutzungsänderungen und zum Schutz terrestrischer Kohlenstoffspeicher wird ein separates völkerrechtliches Regime vereinbart, in dem rasch greifende Maßnahmen in Entwicklungsländern absolute Priorität genießen. (2) Die bisher im Kioto-Protokoll geregelten fluorierten Treibhausgasen (Industriegase) werden in einer Sonderver-

einbarung nach dem Vorbild des Montreal-Protokolls behandelt. (3) Die anderen im Kioto-Protokoll geregelten langlebigen Treibhausgasen werden in die Budgetrechnung aufgenommen. (4) Für bisher nicht im Kioto-Protokoll geregelte kurzlebige klimawirksame Stoffe (darunter Rußpartikel und ozonbildende Gase) werden gesonderte Reduktionsverpflichtungen im Rahmen nationaler Luftreinhaltmaßnahmen vereinbart, um eine möglichst schnelle Wirkung zu erzielen.

Dieses Maßnahmenbündel impliziert klare und langfristig ausgerichtete Weichenstellungen, Anreize und institutionelle Rahmenbedingungen für eine klimaverträgliche Weltwirtschaft. Der internationale Wettbewerb um die innovativsten Dekarbonisierungsstrategien könnte beginnen.

Der vom WBGU durchgeführte klimawissenschaftliche und klimapolitische „Kassensturz“ zeigt, dass der Wettlauf gegen die Zeit gewonnen werden muss: Klimafreundliche Innovationen, Investitionen und Institutionen in Wirtschaft und Gesellschaft, auf nationaler und internationaler Ebene müssen



**Abbildung 2**

Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz, die sich durch einen Emissionshandel ergeben könnten (*durchgezogene Kurven*). Dabei wurde angenommen, dass die Länder der Gruppe 1 ihr Budget um 75% erhöhen, indem sie Emissionsrechte für 122 Mrd. t CO<sub>2</sub> hinzukaufen. Die Länder in Gruppe 2 kaufen Emissionsrechte im Umfang von insgesamt 41 Mrd. t CO<sub>2</sub> hinzu. Als Verkäufer der insgesamt 163 Mrd. t CO<sub>2</sub> treten die Länder der Gruppe 3 auf, deren Budget damit um etwa 43% sinkt. Gegen Ende des Budgetzeitraums ergibt sich eine Annäherung der realen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei etwa 1 t pro Kopf und Jahr (bezogen auf die Bevölkerung im Jahr 2010). Die *gestrichelten Kurven* zeigen die theoretischen Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO<sub>2</sub> ohne Emissionshandel aus Abbildung 1. Die Flächen zwischen den Kurven veranschaulichen die gehandelte Menge an Emissionszertifikaten. Da es sich um eine Darstellung pro Kopf handelt und die Ländergruppen unterschiedliche Bevölkerungsstärken haben, stimmen die Flächen zwischen den kaufenden Ländergruppen 1 und 2 in der Summe nicht mit der Fläche der verkauften Ländergruppe 3 überein. Quelle: WBGU

beschleunigt vorangetrieben werden, um eine nicht mehr beherrschbare Erderwärmung noch abzuwenden. Der dafür notwendige Wandel der Weltgesellschaft muss sich vor allem durch die Entkopplung des ökonomischen Wachstums von der fossilen Energienutzung vollziehen – auch in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Diese anstehende Transformation der modernen globalisierten Industriegesellschaft ist eine historisch beispiellose Herausforderung – technologisch, ökonomisch und sozial. Nun ist couragiertes politisches Handeln gefordert – oder aber eine ehrliche Kapitulationserklärung angesichts der Größe der Klimaherausforderung und der für den Klimaschutz seit dem Erdgipfel von Rio de Janeiro 1992 verlorenen Jahre.



Die Staats- und Regierungschefs der G8-Staaten sowie des Major Economies Forum on Energy and Climate (MEF), dem u.a. Indien, Brasilien und China angehören, haben im Juli 2009 im italienischen L'Aquila die Bedeutung der 2°C-Leitplanke zur Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels anerkannt. Der WBGU sieht darin einen außerordentlich wichtigen Zwischenschritt auf dem Weg zur völkerrechtlichen Vereinbarung einer wohlbegründeten Zielmarke für den Weltklimaschutz. Aufbauend auf diesem Konsens gilt es jetzt in Kopenhagen einen Anschlussvertrag an das im Jahr 2012 auslaufende Kioto-Protokoll auszuhandeln. Dieses neue internationale Abkommen sollte die relevanten Erkenntnisse der Wissenschaft in eine ebenso faire wie praktikable globale Strategie zur Bekämpfung der Erderwärmung übersetzen. Bisher ist im gemischten Chor der am Verhandlungsprozess beteiligten Länder jedoch kein Leitmotiv erkennbar, das den Weg dorthin weisen könnte.

Noch immer steht der Norden gegen den Süden, stehen die Etablierten gegen die Aufstrebenden und die Lebenden gegen die noch nicht Geborenen. Die Regierungen scheinen immer noch auf die vermeintliche Erhaltung bzw. (Wieder-)Herstellung der nationalen ökonomischen Wettbewerbsfähigkeit und weniger auf die Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen als Voraussetzung jeglicher Form des Wirtschaftens fixiert. Diese Situation erinnert an die erst vor 20 Jahren überwundene Epoche des atomaren Wettrüstens, als die scheinbar zwingende Logik der „gegenseitig garantierten Über-Vernichtung“ unsere Zivilisation mehrfach nahe an den Abgrund führte. Das Klimaproblem ist zweifellos anderer Natur, denn jedes Land ist zugleich Verursacher und Opfer des Klimawandels, wenngleich in sehr unterschiedlichem Maße. Die Gefahren für unsere Gesellschaften sind jedoch ähnlich überwältigend, und das heute vorherrschende gegenseitige Misstrauen ist ähnlich lähmend.

Der spieltheoretische Begriff des „sozialen Dilemmas“ beschreibt diese Situation zutreffend, denn individuelle und kollektive Rationalität fallen auseinander. Im sozialen Dilemma gewichten die ein-

zelnen Akteure ihren individuellen Nutzen höher als den gemeinsamen Nutzen einer kooperativen Lösung – und schädigen damit im Endeffekt nicht nur alle anderen, sondern auch sich selbst. Die vorherrschende Neigung vieler Länder, eigene Klimaschutzleistungen aus kurzfristigen Wettbewerbserwägungen zu minimieren, könnte die Weltgemeinschaft insgesamt für Jahrhunderte auf nicht nachhaltige Irrwege führen.

Es müssen vor allem zwei Voraussetzungen gegeben sein, um das klimapolitische Dilemma aufzubrechen: Zum einen ist ein faires, überzeugendes Gesamtkonzept gefordert, das für die große Mehrheit der Nationen akzeptabel ist. Zum anderen bedarf es der Eigeninitiative gewichtiger Pioniere, die im Vertrauen auf ihre Leistungsfähigkeit und auf das Zustandekommen einer konzertierten Aktion bereit sind, erhebliche Risiken zugunsten des Verhandlungsfortschritts einzugehen. Glücklicherweise ist das Klimaproblem so beschaffen, dass beide Voraussetzungen erfüllt werden können.

Mit Blick auf die 2°C-Leitplanke muss die entscheidende klimapolitische Debatte um die rasche Begrenzung und langfristig vollständige Einstellung der Kohlendioxidemissionen geführt werden. Auch wenn gleiche Mengen anderer Treibhausgase (wie Methan oder Lachgas) ein deutlich größeres Erwärmungspotenzial besitzen, ist doch anthropogenes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wegen seiner schieren Menge und seiner enormen Langlebigkeit in der Atmosphäre der entscheidende Faktor in allen Klimaschutzüberlegungen. Aktuelle Forschungsergebnisse belegen, dass das Ausmaß des vom Menschen verursachten Klimawandels im Wesentlichen von den kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen abhängt – also von der insgesamt ausgestoßenen Menge an Kohlendioxid aus anthropogenen Quellen. Dieser Tatbestand kann nicht nur für eine erhebliche Vereinfachung der klimapolitischen Verhandlungssituation genutzt werden, sondern gestattet auch die strategische Anwendung fundamentaler ethischer und operativer Prinzipien.

Eine Reihe von Staaten oder Ländergruppen – nicht zuletzt Deutschland und die EU – haben glaub-

haft gemacht, dass sie als Vorreiter des Klimaschutzes nicht nur eine besondere Verantwortung für die Weltgemeinschaft übernehmen wollen, sondern dass sie dafür auch aufgrund ihrer technologischen und ökonomischen Stärken gut aufgestellt sind. Vieles spricht dafür, dass die USA als überaus innovationsfähiges Land demnächst ebenfalls in eine Klimapionierrolle schlüpfen werden. Und der beim Umweltschutz lange schlafende Riese China ist bereits erwacht. Das 2. Nobelpreisträgertreffen „Global Sustainability“, das im Mai 2009 in London stattfand, fordert gerade diese Länder auf, „Leadership“ beim Kampf gegen die Erderwärmung zu beweisen und formuliert einen klimapolitischen kategorischen Imperativ: „In this spirit of trust, every country must act on the firm assumption that all others will also act“ (St. James’s Palace Nobelpreisträgersymposium, 2009).

Ausgehend von diesen grundsätzlichen Überlegungen und aufbauend auf seinen früheren wissenschaftlichen, strategischen und ethischen Analysen zur Thematik (WBGU, 1995, 1997, 1998, 1999, 2003a, b; 2008, 2009) entwirft der WBGU in diesem Sondergutachten einen umfassenden Lösungsansatz für die internationale Klimapolitik. Dieser Ansatz knüpft nicht zuletzt an die von Bundeskanzlerin Merkel und dem indischen Ministerpräsidenten Singh formulierte Vision an, dass eine langfristige Konvergenz der Pro-Kopf-Emissionsraten aller Menschen eine Richtschnur für völkerrechtliche Vereinbarungen zum Weltklimaschutz sein sollte (Bundesregierung, 2007). Das Gesamtkonzept des WBGU lässt sich aus wenigen elementaren Prinzipien ableiten und fasst die wesentlichen politischen Entscheidungsoptionen in einfachen Parametern zusammen. Es erzeugt Transparenz in einem Themenkomplex, der inzwischen von nur noch wenigen Spezialisten verstanden wird.

Der neue Ansatz des WBGU („Budgetansatz“) beinhaltet ein Verfahren zur Verteilung einer global noch zulässigen CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge auf einzelne Länder. Der Ansatz versteht sich als Orientierungsrahmen für die anstehenden Verhandlungen zum internationalen Klimaschutz und als Brücke für den Weg in eine klimaverträgliche Gesellschaft. Die Analyse des WBGU zeigt, dass sehr schnell sehr ehrgeizige Emissionsminderungen vereinbart werden müssen, die auf eine weitgehende Entkopplung von globalem Wirtschaftswachstum und CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den nächsten Dekaden hinauslaufen – also auf eine beschleunigte Transformation der allermeisten Staaten in Richtung Nachhaltigkeit. Der WBGU-Budgetansatz bietet die Voraussetzung für einen historischen Klimakompromiss, in dem er

– die Komplexität der Verhandlungen erheblich reduziert,

- die Verpflichtungen der einzelnen Staaten sowie den Finanztransfer zwischen Industrie- und Entwicklungsländern auf eine nachvollziehbare und transparente Grundlage stellt,
- über nationale Treibhausgasbudgets die Grundlagen für den künftigen internationalen Emissionshandel sowie für geeignete Länderpartnerschaften (Technologie, Anpassung usw.) legt und
- durch die nationale und globale Begrenzung der Treibhausgasemissionen die Weichen eindeutig und dauerhaft in Richtung klimaverträglichen Wirtschaftens stellt.

Innerhalb dieses klimapolitischen Rahmens kann der Wettbewerb um die besten, schnellsten und günstigsten Klimainnovationen beginnen. Das Zeitfenster für die notwendigen Weichenstellungen ist jedoch eng. Die Dekarbonisierungsfahrpläne der einzelnen Nationen sollten entsprechend anspruchsvoll ausfallen, die notwendigen Reformen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft umgehend beginnen.

Das Durchschlagen des „gordischen Knotens der Klimapolitik“ muss gelingen, weil die Welt auf dem Pfad der Klimadestabilisierung bereits weit vorangeschritten ist. Es gibt keine bequemere Wahrheit.

## 2.1

### Klimawandel durch Treibhausgase

Im 19. Jahrhundert wurde durch die Arbeiten von Fourier, Tyndall und Arrhenius die Rolle der Treibhausgase für das Erdklima aufgeklärt. Inzwischen ist wissenschaftlich gesichert, dass eine Erhöhung der Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anderer Treibhausgase in der Atmosphäre nach den Gesetzen der Physik zu einer globalen Erwärmung führen muss (Kasten 2.1-1). Seit Ende der 1950er Jahre ist nachgewiesen, dass die CO<sub>2</sub>-Menge in der Luft durch die anthropogenen Emissionen tatsächlich ansteigt. Sie hat sich seit der vorindustriellen Zeit von 280 ppm (280 Millionstel Volumenanteile an der Lufthülle) auf 384 ppm erhöht (CDIAC, 2009) – das ist die

bei weitem höchste Konzentration seit mindestens 800.000 Jahren.

Natürliche Ursachen können das Klima zusätzlich und signifikant beeinflussen, ändern aber nichts an der Treibhauswirkung der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. In den vergangenen 50 Jahren haben natürliche Ursachen eine leicht kühlende Wirkung auf das Klima gehabt, vor allem, weil die Leuchtkraft der Sonne abgenommen und in den letzten Jahren ihren tiefsten Stand seit Beginn der Satellitenmessungen in den 1970er Jahren erreicht hat (Lockwood und Fröhlich, 2007, 2008).

Die globale Erwärmung seit 1880 beträgt 0,8°C. Die weitere Erwärmung wird vor allem von den künftigen anthropogenen Emissionen abhängen, die sich näherungsweise aus Szenarien der globalen Gesellschaftsentwicklung abschätzen lassen. Bei

#### Kasten 2.1-1

##### Strahlungsantrieb und Klimasensitivität

Die bestimmende Größe für die globale Mitteltemperatur ist die Wärmebilanz unseres Planeten und damit der Strahlungsantrieb, gemessen in Watt pro Quadratmeter Erdoberfläche (W pro m<sup>2</sup>). Dies ist analog zur Temperatur in einem Haus, die von der Leistung der Heizung (in Watt) und den Wärmeverlusten nach draußen bestimmt wird.

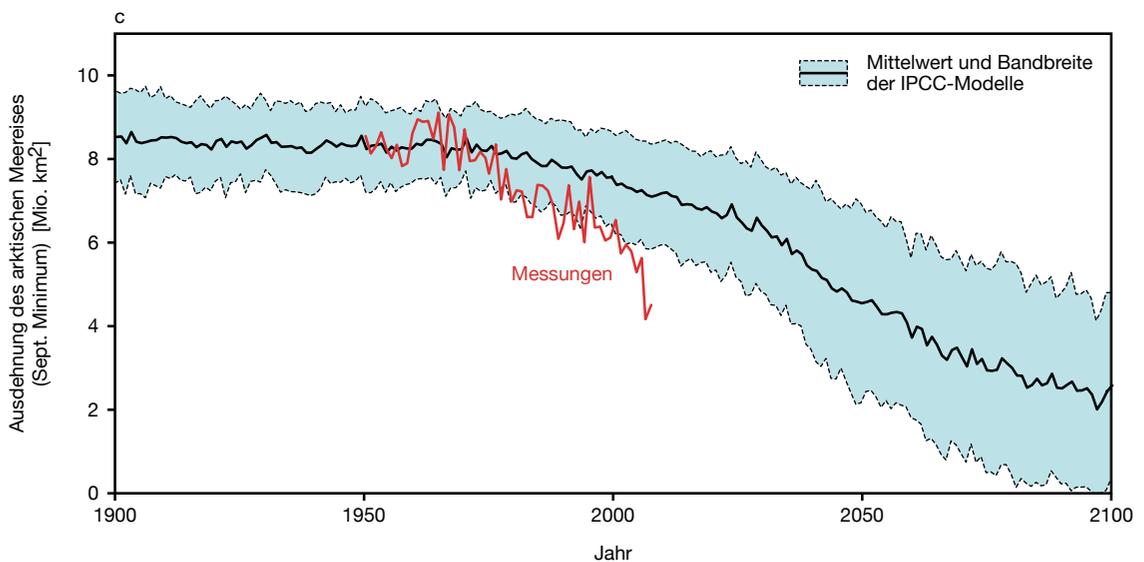
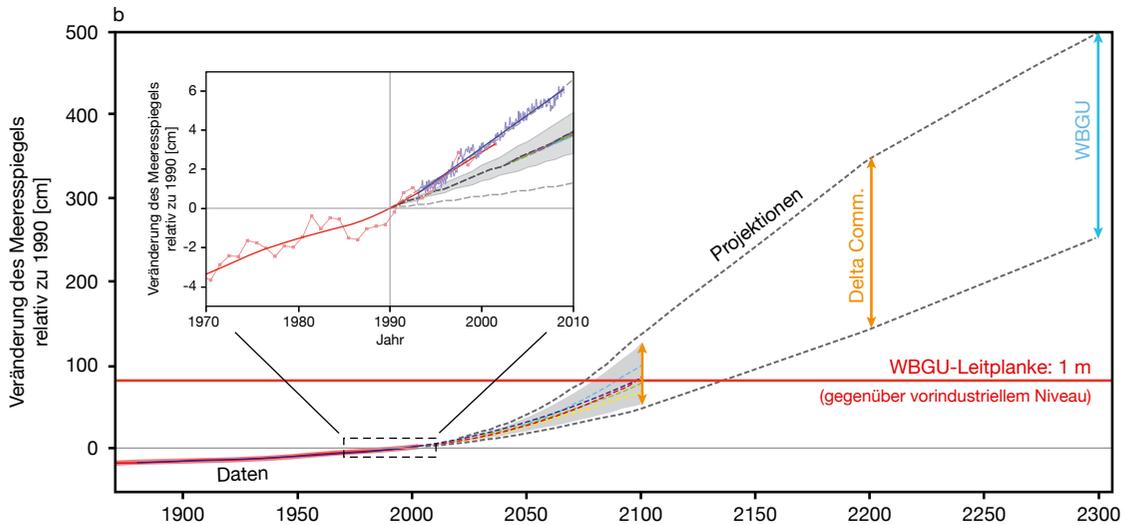
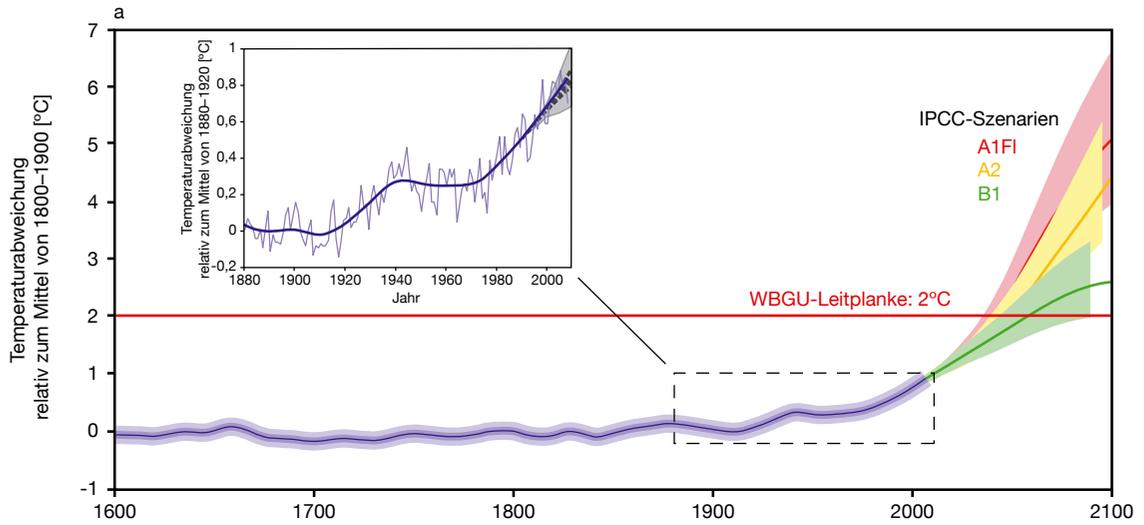
Menschliche Aktivitäten haben den Strahlungsantrieb der Erde bislang um 1,6 W pro m<sup>2</sup> erhöht. Dabei liefern der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration einen Beitrag von +1,7 W pro m<sup>2</sup>, der Anstieg anderer Treibhausgase weitere +1,3 W pro m<sup>2</sup> und abkühlende Effekte vor allem durch Luftverschmutzung mit Schwefelpartikeln -1,4 W pro m<sup>2</sup>. Neben den abkühlenden Partikeln befinden sich in der Atmosphäre auch erwärmende Rußpartikel (Kasten 5.7-3). Alle Partikel zusammen tragen netto jedoch zu einer Abkühlung bei. Dieser Effekt maskiert also derzeit nahezu die Hälfte der „programmierten“ globalen Erwärmung durch Treibhausgase. Allerdings sind die kühlenden Stoffe kurzlebig, die Treibhausgase aber sehr langlebig.

Der Strahlungsantrieb kann mit einem einfachen Umrechnungsfaktor, der Klimasensitivität (ein Maß für die Empfindlichkeit des Klimas gegenüber Störungen) in eine globale Temperaturänderung umgerechnet werden. Die Klimasensitivität kann aus den Rückkopplungen im Klimasystem errechnet werden (mit Hilfe von Klimamodellen), oder sie kann aus Daten der Klimageschichte

bestimmt werden. Die natürlichen Klimaänderungen der Erdgeschichte zeigen, wie empfindlich das System früher schon auf Störungen reagiert hat. Die beste Abschätzung der Klimasensitivität beträgt 0,8°C pro W pro m<sup>2</sup>. Dies entspricht einer Erwärmung um 3°C bei einer Verdoppelung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, da letztere einen Strahlungsantrieb von 3,7 W pro m<sup>2</sup> bedeutet.

Der derzeitige Strahlungsantrieb von 1,6 W pro m<sup>2</sup> führt demnach auf Dauer zu einer Erwärmung um 1,3°C. Diese berechnete Erwärmung wird aber nicht unmittelbar spürbar, da die thermische Trägheit der Ozeane eine Verzögerung um einige Jahrzehnte verursacht. Daher wird bislang nur eine Erwärmung um 0,8°C beobachtet. Die natürlichen Klimaantriebe, wie z.B. Schwankungen der Sonnenaktivität, sind im Verlauf der letzten hundert Jahre zu klein, um bei dieser Betrachtung eine nennenswerte Rolle zu spielen. Die restlichen ca. 0,5°C Erwärmung werden noch kommen, auch wenn der Strahlungsantrieb ab jetzt konstant gehalten würde.

Ohne die abkühlende Wirkung von Luftverschmutzung durch Partikel würde der Strahlungsantrieb der heute schon in der Luft befindlichen Treibhausgase von 3,0 W pro m<sup>2</sup> sogar eine Erwärmung um 2,4°C verursachen. Ohne diesen „Kühlschirm“ wäre also schon die heutige Treibhausgasmenge hoch genug, um die globale Erwärmung über die 2°C-Leitplanke zu treiben. Daher müssten bei rascher Reduktion der Luftverschmutzung, die zum Gesundheitsschutz erforderlich ist, die Treibhausgasemissionen ebenfalls schneller reduziert werden.



**Abbildung 2.2-1**

Zeitliche Entwicklung von Temperatur, Meeresspiegel und Ausdehnung des arktischen Meereises.

a) Gezeigt sind drei verschiedene Emissionsszenarien (B1, A2 und A1FI); die farbigen Bereiche sind die dazu gehörigen klimatologischen Unsicherheitsspannen. Ohne erfolgreiche Klimaschutzmaßnahmen würde selbst beim optimistischsten Emissionsszenario (B1) die 2°C-Leitplanke überschritten. Einsatzgrafik: Vergleich der beobachteten Temperaturen bis 2008 (NASA, 2009) mit den Projektionen des 3. IPCC-Berichts (IPCC, 2001) (grauer Bereich und gestrichelte Linien). Die Messdaten zeigen Jahreswerte der globalen Temperatur (hier im Gegensatz zur Hauptgrafik relativ zu 1880–1920) sowie eine geglättete Klimatrendlinie.

Quelle: modifiziert nach Rahmstorf et al., 2007

b) Neuere Projektionen des globalen Meeresspiegelanstiegs bis zum Jahr 2300 (relativ zu 1990). Die WBGU-Leitplanke von 1 m über dem vorindustriellen Wert ist ebenfalls gezeigt (WBGU, 2006). Da zwischen dem Beginn der Industrialisierung und dem Jahr 1990 der Meeresspiegel um rund 15 cm gestiegen ist, ist die Linie hier bei weniger als 1 m eingezeichnet. Einsatzgrafik: (1) Messdaten („Daten“: Pegeldata nach Church und White, 2006; Satellitendaten bis 2008 aktualisiert nach Cazenave et al., 2008). (2) Projektionen des 3. IPCC-Berichts (IPCC, 2001); Rahmstorf (2007), grauer Bereich und gestrichelte Linien); rote Balken nach Delta Committee (2008); hellblauer Balken nach WBGU (2006). Die unterschiedlichen Annahmen hinter diesen Projektionen sind in den angegebenen Quellen erläutert.

Quelle: aktualisiert nach Rahmstorf et al., 2007

c) Meereisausdehnung in der Arktis im Sommerminimum (September), nach Beobachtungsdaten und den Projektionen des IPCC.

Quelle: modifiziert nach Stroeve et al., 2007

hohen Emissionen beträgt die Bandbreite der Temperaturerhöhung bis 2100 gegenüber dem vorindustriellen Niveau 3–7°C, bei niedrigen Emissionen 2–3°C (IPCC, 2007a). Nur durch einen ambitionierten Klimaschutz können die Emissionen unter diesen Szenarienfächer gedrückt, also so weit gemindert werden, dass die Temperaturerhöhung die 2°C-Leitplanke nicht überschreitet.

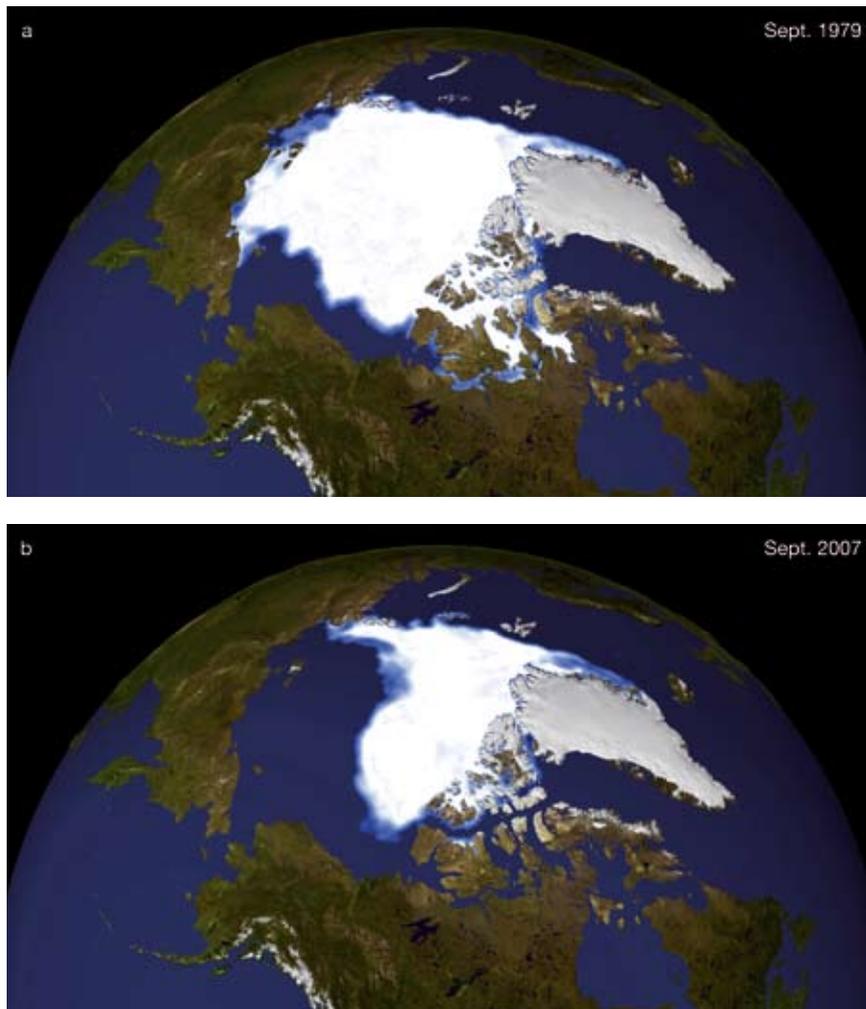
**2.2****Klimawirkungen auf die Natur**

Selbst bei der mäßigen, bisher gemessenen globalen Erwärmung von 0,8°C sind die Auswirkungen bereits in allen Teilen der Welt spürbar (Abb. 2.2-1a). So ist z.B. die Sommerausdehnung des arktischen Meereises seit den 1970er Jahren bereits um rund die Hälfte geschrumpft (Abb. 2.2-1c, 2.2-2; Stroeve et al., 2007). Da gleichzeitig die Eisdicke stark abnimmt, schwindet das Eisvolumen noch stärker (Kwok et al., 2009). Sollte die Erwärmung ungebremst fortschreiten und 4°C oder mehr erreichen, würde sich das System Erde mit all seinen ökologischen Ressourcen und Leistungen fundamental verändern. Denn solche globalen Temperaturdifferenzen entsprächen etwa dem Temperaturunterschied zwischen dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren und heute. Die Erderwärmung hat folgende konkrete Konsequenzen:

- Der *Meeresspiegel* steigt durch die Ausdehnung des Meerwassers und den Zufluss von Schmelzwasser in die Ozeane (Abb. 2.2-1b; Domingues et al., 2008), und zwar immer schneller, je wärmer es wird (Rahmstorf, 2007). Seit 1880 hat sich der globale Meeresspiegel um rund 20 cm erhöht. Bis 2100 könnte er jedoch um 50–150 cm ansteigen (Rahmstorf, 2007), bis 2200 um 1,5–3,5 m (Delta

Committee, 2008) und bis 2300 um 2,5–5,1 m (WBGU, 2006).

- Eine *Zunahme von Wetterextremen*, wie Hitzewellen, Dürren, Starkregen, Überflutungen und Tropenstürmen, wurde in vielen Regionen bereits beobachtet (IPCC, 2007a). Eine weitere Häufung dieser Wetterextreme infolge zusätzlicher Erwärmung ist, je nach Art des Extremereignisses, wahrscheinlich bzw. sehr wahrscheinlich.
- Bei einer globalen Erwärmung über 2°C droht der beschleunigte *Verlust von genetischer Vielfalt, Arten und Ökosystemen*, da dann in vielen Weltgegenden in sehr hohem Tempo klimatische Bedingungen erreicht werden, wie es sie seit mehreren Jahrmillionen nicht gegeben hat. Dies würde die Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit der Natur so sehr überfordern, dass laut IPCC (2007b) der unwiederbringliche Verlust von 20–30% der Tier- und Pflanzenarten droht. Auch Ökosysteme wie Mangrovenwälder, Korallenriffe und möglicherweise der Amazonasregenwald würden irreversibel geschädigt oder zerstört. Mit dem Verlust biologischer Vielfalt gingen auch Ökosystemressourcen und -leistungen verloren. Beispiele sind der Schutz vor Sturmfluten und vor Küstenerosion sowie die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser und genetischen Ressourcen (MA, 2005), die nicht zuletzt auch für die gesellschaftliche Anpassung an den Klimawandel eine entscheidende Bedeutung haben.
- Die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen führen heute bereits zu einer messbaren *Versauerung der Ozeane*. Die Meere haben bisher rund ein Drittel des anthropogenen CO<sub>2</sub> aus der Luft aufgenommen, das im Meerwasser Kohlensäure bildet. Dadurch ist die Konzentration der Wasserstoffionen bereits um ca. 30% gestiegen, was einer Absenkung des pH-Werts um etwa 0,11 Einheiten gegenüber dem vorindustriellen Niveau ent-



**Abbildung 2.2-2**  
Satellitenaufnahmen der arktischen Eisbedeckung  
a) September 1979;  
b) September 2007.  
Quelle: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio, 2009

spricht (WBGU, 2006). Eine ungebremste Fortsetzung dieses Trends würde zu einer Meeresversauerung führen, die in den letzten Jahrtausenden ohne Beispiel ist. Die Versauerung stört das Wachstum kalkbildender Organismen (z.B. Korallen, Muscheln, Schnecken und bestimmte Planktongruppen), führt zum Verlust biologischer Vielfalt, kann anoxische Todeszonen in den Ozeanen erzeugen (Hoffmann und Schellnhuber, 2009) und stellt insgesamt eine existenzielle Gefährdung mariner Ökosysteme (z.B. Korallenriffe) dar (Hoegh-Guldberg et al., 2009).

- Im Klimasystem gibt es eine Reihe sogenannter *Kippelemente*, deren Aktivierung zu ökologischen „Großunfällen“ führen kann (Abb. 2.2-3; Lenton et al., 2008). Zu den bedeutendsten Risiken gehören das abrupte Abreißen von Meeresströmungen, der Kollaps des Amazonasregenwaldes, unberechenbare Veränderungen im Monsunsystem oder eine nicht mehr rückgängig zu machende Destabilisierung großer Eismassen. Hier ist z.B. der grün-

ländische Eisschild zu nennen, dessen vollständiges Abschmelzen zu einem globalen Meeresspiegelanstieg von 7 m führen würde. Das Abschmelzen könnte bereits ausgelöst werden, wenn eine Erderwärmung von mehr als 1,9°C längere Zeit andauert (IPCC, 2007d).

## 2.3 Klimawirkungen auf die Gesellschaften

Der Klimawandel hat das Potenzial, große Gesellschafts- und Wirtschaftskrisen auszulösen. Arme Bevölkerungen sind besonders gefährdet, aber auch für reiche Nationen gibt es erhebliche Gefahren. Zunehmend wird in der Wissenschaft eine Temperaturerhöhung von 2°C über dem vorindustriellen Niveau als gerade noch beherrschbar angesehen. Jüngster Beleg für diesen Konsens ist das Schlussdokument der wissenschaftlichen Klimakonferenz, die im März 2009 in Kopenhagen stattfand: „Mit einer

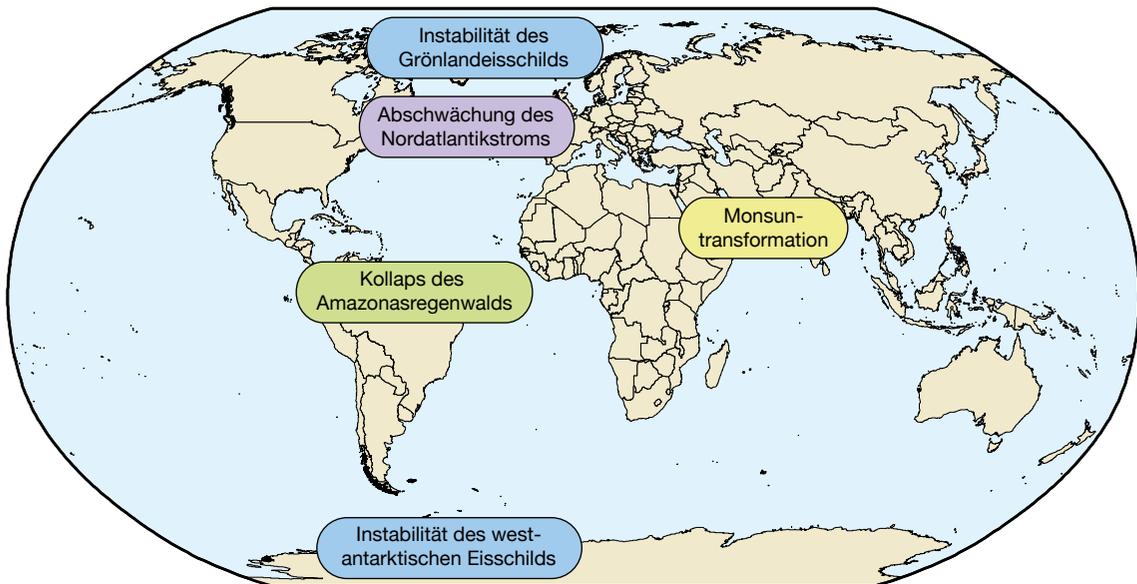


Abbildung 2.2-3

Kippelemente des Klimasystems: Auswahl.

Quelle: WBGU, 2008

Temperaturerhöhung von mehr als 2°C würden gegenwärtige Gesellschaften nur schwer zu Rande kommen; sie würde wahrscheinlich bis zum Ende des Jahrhunderts und darüber hinaus zu gravierenden gesellschaftlichen Verwerfungen und Störungen der natürlichen Umwelt führen.“ (Richardson et al., 2009).

Mit folgenden Wirkungen muss bei ungebremstem Klimawandel gerechnet werden:

- Die *Wasserversorgung* – für Haushalte, Gesundheitssysteme, Landwirtschaft und Industrie (Kühlwasser, Wasserkraftwerke) – wird durch Wetterextreme, veränderte Niederschlagsmuster und den Rückgang der Gebirgsgletscher gefährdet. Beispielsweise hängt die Wasserversorgung der peruanischen Küstenregion inklusive der Millionenstadt Lima zu 80% vom Gletscherschmelzwasser ab (WBGU, 2008).
- Die *Nahrungsmittelproduktion* wird bei einer Erwärmung um 2–4°C voraussichtlich weltweit sinken. Dies kann regionale Ernährungskrisen auslösen und die ökonomische Leistungsfähigkeit betroffener Staaten untergraben. In China droht schon bei einem Anstieg der globalen Temperatur um 2°C ein Rückgang des Reisertrags im Regenfeldbau um 5–12 % (IPCC, 2007b).
- Die Erwärmung verstärkt *Gesundheitsrisiken* durch die mögliche Ausbreitung von Infektionskrankheiten (Malaria, Durchfall) und Kreislauferkrankungen (Hitzewellen). Auch die Verletzungsrisiken als Folge von Extremwetterereignissen nehmen zu. Ohne Anpassungsmaßnahmen würde schon ein Anstieg des Meeresspiegels um

40 cm für über 100 Mio. Menschen die Sturmflutgefahren dramatisch erhöhen (IPCC, 2007b). Der Klimawandel war bereits im Jahr 2000 für rund 150.000 Todesfälle verantwortlich (WHO, 2008); das Global Humanitarian Forum (2009) schätzt die entsprechende Zahl der jährlichen Todesfälle sogar auf über 300.000.

- Durch die Zunahme von Dürren und Bodendegradation sowie Verlusten von Inseln oder Küstenregionen aufgrund des steigenden Meeresspiegels ist eine erhebliche *Zunahme von Umweltmigration* zu befürchten (Warner et al., 2009).
- Die *wirtschaftliche Leistungsfähigkeit* vieler Länder, besonders in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, ist vom Klimawandel direkt und indirekt negativ betroffen. Auch der durch die Erderwärmung beschleunigte Verlust biologischer Vielfalt und der damit verbundenen Ökosystemleistungen verursacht weltweit erhebliche wirtschaftliche Kosten und schafft neue Armut (Sukhdev, 2008). Zudem werden vor allem an den Küsten Städte und wichtige Infrastrukturen durch Meeresspiegelanstieg und Wetterextreme bedroht. Ein ungebremster Klimawandel führt somit zu einem erheblichen globalen Wohlfahrtsverlust: Bei einem Temperaturanstieg um 4°C könnte dieser Verlust im schlimmsten Fall bis zu 20% des globalen Bruttoinlandsprodukts betragen (Stern, 2006).
- Der Klimawandel wird zunehmend zu einem *Sicherheitsrisiko*, weil er die Lebensgrundlagen vieler Menschen in nahezu allen Weltregionen unterminiert, die Wasser- und Nahrungsmittelres-

sourcen der Menschheit verknappt und über den Meeresspiegelanstieg die Bewohner von Küstenregionen gefährdet. Die Folgen eines ungebremsten Klimawandels würden die Anpassungsfähigkeit vieler Länder überfordern, zu politischer Destabilisierung beitragen, Migrationsschübe auslösen und immer mehr Länder zu fragilen Staaten machen (WBGU, 2008). Mit steigender Erwärmung können sich national wie international Verteilungskonflikte um knappe Ressourcen sowie Konflikte über die Verantwortung und Haftung für weltweite Klimaschäden verschärfen. „Großunfälle“ im Erdsystem (Kippelemente; Abb. 2.2-3) können Systemkrisen in Gesellschaften und Regionen auslösen (WBGU, 2008). Im Ergebnis entstehen neue und unkalkulierbare Spannungs- und Konfliktlinien in der Weltpolitik, welche die internationale Stabilität und Sicherheit gefährden (CNA Corporation, 2007; WBGU, 2008).

---

## 2.4

### Die 2°C-Leitplanke

Der WBGU hat erstmals 1995 vorgeschlagen, die globale Erwärmung auf höchstens 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, um eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern (WBGU, 1995, 2006, 2008). Allerdings kann auch die Erwärmung um 2°C nicht als „sicher“ gelten, sondern hat bereits gravierende Folgen, etwa einen Meeresspiegelanstieg, der wahrscheinlich dazu führt, dass einige Inselstaaten und dicht besiedelte Küstenregionen unbewohnbar werden (Kap. 2.2 und 2.3). Die Bedeutung einer Begrenzung der Klimaerwärmung auf 2°C oder weniger haben inzwischen 133 Staaten anerkannt, die 80% der Weltbevölkerung und 75% der globalen Emissionen repräsentieren, darunter die G8-Staaten und große Schwellenländer wie Brasilien, Indien und China. Viele dieser Staaten haben die 2°C-Leitplanke zum offiziellen Ziel ihrer Klimapolitik erklärt. In der Wissenschaft findet diese Messlatte für den Klimaschutz inzwischen breite Unterstützung (Schellnhuber et al., 2006; Richardson et al., 2009). Denn immer mehr Studien zeigen, dass eine Welt jenseits der 2°C unsere im klimastabilen Holozän gewachsene Zivilisation vor beispiellose Herausforderungen stellen würde.

Im Gegensatz zur gegenwärtigen Weltwirtschaftskrise wird die Klimawirkung unserer heutigen CO<sub>2</sub>-Emissionen extrem lange andauern. Selbst wenn es gelingt, die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Null zu reduzieren, sinkt die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre anschließend nur sehr langsam: Nach 1.000 Jahren wird noch rund die Hälfte der CO<sub>2</sub>-Menge in der Luft sein, die dort in den ersten Jahren nach der Emission verblieben ist – also nicht unmittelbar von den Ozeanen oder der terrestrischen Biosphäre aufgenommen wurde. Daher sinken die Temperaturen auch bei Nullemissionen über viele Jahrhunderte nur um wenige Zehntel Grad wieder ab (Solomon et al., 2009).

Die Erwärmung lässt sich daher stoppen, indem der CO<sub>2</sub>-Ausstoß eingestellt wird. Wenn aber das CO<sub>2</sub> einmal die Lufthülle erreicht hat, lässt sich die Erwärmung mit heute verfügbaren Methoden nicht wieder umkehren. Auch wesentliche Folgen der Erwärmung sind irreversibel: Dazu gehören der Anstieg des Meeresspiegels – er wird selbst bei erfolgreich gebremster Erderwärmung noch Jahrhunderte weitergehen – und der Verlust von Arten und Ökosystemen. Wegen dieser Unumkehrbarkeit muss die Klimapolitik vorausschauend handeln und ist zum Erfolg verdammt, denn eine zweite Chance wird es nicht geben!

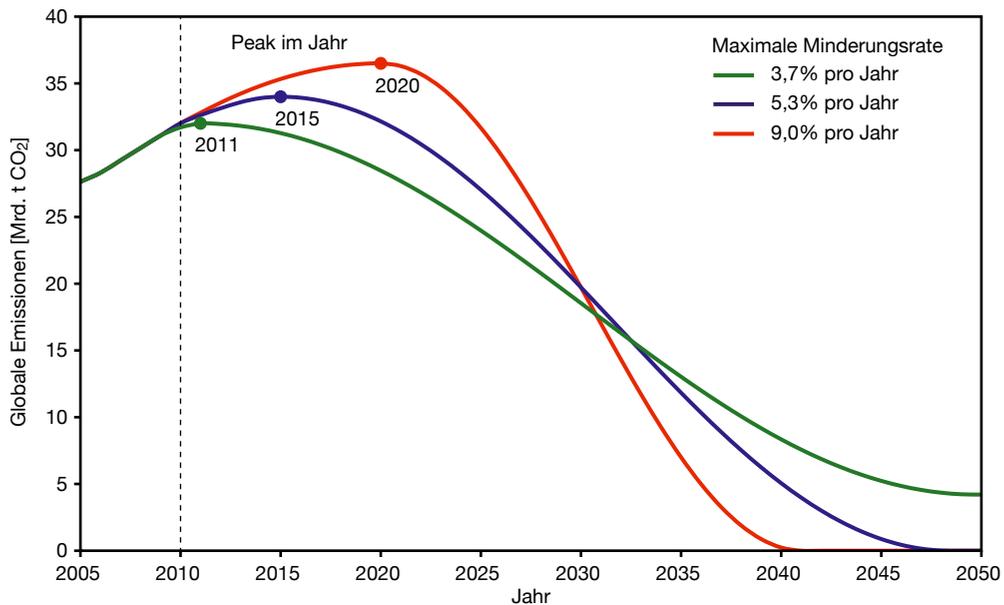
Bei der Abschätzung, welche Emissionsreduktionen für die Einhaltung der 2°C-Leitplanke notwendig sind, müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden: die emittierte Menge an CO<sub>2</sub>, aber auch andere Treibhausgase, die abkühlende Wirkung der Luftverschmutzung (vor allem durch Schwefelpartikel), die erwärmende Wirkung von Rußpartikeln, die Trägheit des Klimasystems sowie all jene Unsicherheiten, die eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung notwendig machen.

Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass sich diese Komplexität deutlich reduzieren lässt (Meinshausen et al., 2009; Allen et al., 2009): Durch die hohe Lebensdauer von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre wird auf lange Sicht die Bedeutung dieser Substanz im Vergleich zu kurzlebigen Treibhausgasen und Aerosolen immer dominanter. Aus diesem Grund ergibt sich die Erwärmung in diesem Jahrhundert hauptsäch-

lich daraus, wie viel CO<sub>2</sub> insgesamt noch ausgestoßen wird. Die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 bestimmen weitgehend, inwieweit der planetarische Temperaturanstieg unterhalb von 2°C zu halten ist. Um dies mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% zu erreichen, dürfen global bis zur Jahrhundertmitte nur noch 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> und danach nur noch eine kleine CO<sub>2</sub>-Menge ausgestoßen werden. Bei den derzeitigen Emissionsraten wird dieses Budget schon in ca. 25 Jahren ausgeschöpft sein – bei weiter wachsenden Emissionen sogar noch schneller.

Das Zurückfahren der Emissionen muss deshalb so rasch wie möglich beginnen – jede Verzögerung führt angesichts der begrenzten noch möglichen CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge zu später kaum noch zu bewältigenden Reduktionsanforderungen. Bei einer Trendwende (Überschreitung des Scheitelpunkts) bis 2010 müssten die globalen Emissionen bis 2050 etwa 50–80% unter das Niveau von 1990 gesunken sein – mit weiteren Reduktionen bis hin zur Nullemission danach. Schon eine leicht verzögerte Trendwende im Jahr 2015 würde jährliche globale Emissionsminderungen von bis zu 5% (bezogen auf 2008) erfordern (Abb. 3.2-1). Die Welt müsste dann in jedem einzelnen Jahr die Reduktionsleistung erbringen, die im Kioto-Protokoll über zwei Jahrzehnte vorgesehen ist. Eine noch größere Verzögerung der Trendumkehr bis 2020 könnte kaum mehr vorstellbare globale Minderungsraten von bis zu 9% pro Jahr erfordern, also technische und gesellschaftliche Anstrengungen, die etwa mit der Mobilisierung der Alliierten während des zweiten Weltkriegs vergleichbar sind. Unabhängig von den Details ergibt sich also in jedem Fall die Notwendigkeit, die bisher ungebremste Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen möglichst umgehend zu stoppen und danach unmittelbar zu global sinkenden Emissionen überzugehen. Jeder weitere Zeitverlust dürfte die Kosten des Klimaschutzes stark nach oben treiben und die Einhaltung der 2°C-Leitplanke insgesamt in Frage stellen.

Diese Analyse verdeutlicht, welche Herausforderung die gegebene Konstellation – extremer Problemdruck bei sich rasch schließenden Handlungsfenstern – für demokratische Systeme bedeutet, in



**Abbildung 3.2-1**

Beispiele für globale Emissionspfade für den Zeitraum 2010–2050, bei denen global 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> emittiert werden. Bei dieser Emissionsmenge kann die 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% eingehalten werden (Kap. 5). Dargestellt sind verschiedene Varianten eines globalen Emissionsverlaufs mit Maxima in den Jahren 2011 (grün), 2015 (blau) und 2020 (rot). Um diese Kurven einzuhalten, sind in den frühen 2030er Jahren jährliche Reduktionsraten von 3,7% (grün), 5,3% (blau) bzw. 9,0% (rot) notwendig (bezogen auf 2008).

Quelle: WBGU

denen Entscheidungen in der Regel zeitaufwändig im Konsens getroffen werden müssen. Doch sollte es der internationalen Staatengemeinschaft in den nächsten 4–5 Jahren nicht gelingen, sich auf die erforderlichen globalen Emissionsbegrenzungen bis 2020 zu einigen und diese umzusetzen, hätte bereits die ab 2013 amtierende Bundesregierung keinerlei klimapolitischen Handlungsspielraum mehr, weil dann nur noch über realitätsferne globale Minderungsraten zu verhandeln wäre. Bei den relevanten Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft – ebenso wie in der breiten Öffentlichkeit – ist das Bewusstsein darüber, wie wenig Zeit tatsächlich noch bleibt, um einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern, nur in Ausnahmefällen vorhanden. Die immensen Risiken der Erderwärmung scheinen weit entfernt und abstrakt zu bleiben.

Wie nah uns die kritischen Etappen tatsächlich schon gerückt sind, illustriert der fiktive Lebenslauf eines Kindes, das im Jahr 2004 geboren wurde und im Jahr 2010 eingeschult wird: Noch bevor dieses Kind (nennen wir es Paul) auf eine weiterführende Schule wechseln wird (2014/16), müssen die Weichen in Richtung einer „klimaverträglichen“ Gesellschaft gestellt sein. Seinen 45. Geburtstag sollte Paul im Jahr 2049 in einer Welt mit 50–80% geringeren Emissionen feiern; das Wirtschaften muss also binnen einer einzigen Generation von seiner heutigen fossilen Basis auf weitgehende Klimaneutralität transformiert wer-

den. Sollten die Emissionen aber auf dem aktuellen Niveau verharren, wird die Menschheit wenn Paul erst Mitte zwanzig ist schon derart viel CO<sub>2</sub> emittiert haben, dass die Erderwärmung nicht unterhalb von 2°C zu halten ist. Man sieht: Klimaschutz ist nichts, was man leichter Hand auf künftige Generationen verschieben kann. Wenn wir jetzt nicht aktiv werden, müssen schon unsere unmittelbaren Nachkommen mit drastisch verengten Spielräumen für ihre Lebensgestaltung auskommen.

Die Ausgangslage für die internationale Klimapolitik ist eigentlich nicht ungünstig: Endlich nehmen die drei handlungsmächtigsten Akteure China, die USA und die EU die Klimakrise ernst. Zudem haben erstmals alle 16 führenden Wirtschaftsmächte und die EU (G8- bzw. MEF-Mitglieder), die gemeinsam für etwa 80% der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind, im Juli 2009 in L'Aquila die Bedeutung der Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2°C anerkannt.

Andererseits dokumentieren die gegenwärtigen Klimaverhandlungen über konkrete Minderungsziele für Treibhausgase eine politische Gemengelage, in der kurzfristige nationale Interessen eine wirkungsvolle globale Vereinbarung zur Vermeidung gefährlicher Klimaänderungen blockieren könnten. Trotz des Konsenses in L'Aquila ist weiterhin ein schwacher Kompromiss bei der Weltklimakonferenz in Kopenhagen zu befürchten, der gefährlichen Klimawandel nicht verhindern kann. Die momentan vorliegenden Vorschläge zur Emissionsreduktion würden nach aktuellen Berechnungen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit eine Erwärmung der Erdatmosphäre von deutlich mehr als 2°C zur Folge haben (Rogelj et al., 2009).

Bislang verharren die Staaten bei den Vorbereitungen zur Weltklimakonferenz in den bekannten langatmigen Verhandlungsmustern, in denen komplexe Interessen minutiös austariert werden. Die wichtigsten Emittenten schieben sich wechselseitig die Verantwortung zu: China und andere Schwellenländer verweisen, unterstützt von den am wenigsten entwickelten Ländern, auf die hohen Pro-Kopf-Emissionen der Industrieländer und deren emissionsbasiertem Wirtschaftswachstum seit der industriellen Revolution. Die Industrieländer betonen dagegen, dass China inzwischen der größte Treibhausgasemittent ist und die Emissionen in den Entwicklungsregionen, vor allem Asiens, künftig stark zunehmen werden. Die EU schließlich unterstreicht die doppelte so hohen Pro-Kopf-Emissionen in den USA. Trotz des Konsenses in L'Aquila stecken die Verhandlungen noch in einer Sackgasse.

Dieser „Gordische Knoten der Klimapolitik“, in erster Linie geknüpft von den USA, der EU, China und den G77-Ländern, kann spieltheoretisch als soziales Dilemma beschrieben werden: Individuelle, rational begründete Präferenzen führen kollektiv zu einem Ergebnis, das künftig alle Beteiligten schlechter stellt und – im Falle des Klimawandels – sogar massiv und irreversibel schädigt. Wenn die eigennützigste Spielweise der zentralen Akteure in den bevorstehenden Klimaverhandlungen nicht aufgebrochen wird, kann eine „gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems“ (Art. 2 UNFCCC) nicht mehr verhindert werden.

Zusätzlich erschwert die Verhandlungen, dass eine Einigung auf ambitionierte und verbindliche Treibhausgasreduktionen zwischen den Industrieländern und den bevölkerungsreichen und schnell wachsenden Schwellenländern für die Einhaltung der 2°C-Grenze nicht ausreicht. Mittlerweile wachsen auch die Ökonomien vieler Entwicklungsländer sehr dynamisch, was mit einem steigenden Verbrauch fossiler Energieträger verbunden ist. Daher müssen überall auf der Welt die Weichen in Richtung klimaverträgliches Wirtschaften gestellt werden.

Etwa 60 Länder emittieren derzeit mehr als 5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr und werden bis Mitte des Jahrhunderts eine weitgehende Dekarbonisierung erreichen müssen (Abb. 4.1-1; WRI-CAIT, 2009). Zu dieser Gruppe zählen neben den Industriestaaten sowie einigen arabischen Ländern auch Südafrika und Venezuela. Weitere Staaten wie Mexiko, Thailand und China haben bereits Pro-Kopf-Emissionen erreicht, die bei 3,7 t und mehr liegen und bis 2050 erheblich reduziert werden müssen. Insbesondere China muss angesichts seines hohen Wirtschaftswachstums unverzüglich die weitgehende Dekarbonisierung angehen. Auch Länder wie Chile, Algerien und Syrien sollten ihre jetzigen Pro-Kopf-Emissionen von 2,7 t und mehr trotz Wirtschaftswachstum zunächst konstant halten und zukünftig senken, weil bei wachsender Weltbevölkerung die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um rund zwei Drittel (gegenüber 1990) reduziert werden müssen. Dies entspricht durchschnittlichen jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von

**Kasten 4.1-1****Wie ein scheinbar ordentliches Verhandlungsergebnis in Kopenhagen die 2°C-Leitplanke durchbrechen könnte**

Das folgende Szenario verdeutlicht beispielhaft, wie ein realpolitisch zufriedenstellendes Verhandlungsergebnis in Kopenhagen zum Durchbrechen der 2°C-Leitplanke führen könnte. Denn es sind nicht allein die vereinbarten Minderungsziele, die den globalen Emissionsverlauf (und damit die Temperaturentwicklung) bestimmen. Regelungen, die sich auf den ersten Blick nur auf Detailfragen zu beziehen scheinen, können Minderungsziele entscheidend verwässern und den erforderlichen Klimaschutz verhindern.

*Annahme:* Die Mehrzahl der Industriestaaten verpflichtet sich zu Treibhausgasreduktionen von 30% bis 2020 gegenüber 1990; die USA verpflichten sich, ihre Emissionen bis 2020 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen; China kündigt Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von 5% pro Jahr an und zeigt mit anderen Schwellenländern Bereitschaft zu freiwilligen Klimaschutzmaßnahmen; die Schwellenländer gehen keine quantitativen Verpflichtungen zur Emissionsbegrenzung ein, sagen aber zu, ihre Emissionen – unterstützt durch Finanz- und Technologietransferleistungen der Industrieländer – gegenüber einem Business-as-usual-Pfad zu senken.

Um den Industrieländern Emissionsreduktionen zu erleichtern – so die weitere Annahme – werden in Folge verschiedene Detailregelungen getroffen, mit denen sie sich Maßnahmen als Minderungsleistungen anrechnen können, die nur zum Teil reale Emissionsreduktionen bewirken. Unterschiedliche Möglichkeiten sind denkbar: Zum Beispiel könnten nicht verwendete Emissionsrechte aus der ersten Verpflichtungsrunde des Kioto-Protokolls auf die zukünftigen Verpflichtungen angerechnet werden. Diese belaufen sich auf mindestens 4% der Referenzemissionen der Industrieländer (inkl. USA) im Jahr 1990 (EU-Kommission, 2009). Das bedeutet, dass bei einer solchen Anrechnung bereits eine reale heimische Emissionsminderung von 26% ausreicht, um ein Minderungsziel von 30% gegenüber 1990 zu realisieren, da 4% Minderung bereits formal über die angerechneten Emissionsrechte erzielt werden. Ein weiteres Beispiel ist der Bereich der Landnutzung. Bislang konnten Vertragsstaaten CO<sub>2</sub>-Senken aus dem Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft selektiv auf ihre Verpflichtungen anrechnen. Sollte diese oder eine ähnliche Regelung fortgeschrieben werden, könnten CO<sub>2</sub>-Senken bis zu 9% der Referenzemissionen der Industrieländer (Annex-I-Länder) in 1990 ausmachen (EU-Kommission, 2009).

In der Diskussion ist weiterhin die Anrechnung von Gutschriften im Rahmen eines Abkommens zur Minderung

von Emissionen durch Entwaldung in Entwicklungsländern (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Developing Countries, REDD). Würden die jährlichen Emissionen von derzeit 5,5 bis 8 Gt CO<sub>2</sub> aus Entwaldung bis 2020 auf die Hälfte begrenzt, entspräche dies 15–22% der Referenzemissionen der Industrieländer in 1990. Ähnliche Effekte hätte die Beibehaltung des Clean Development Mechanism (CDM). Würden alle Minderungszertifikate der laufenden und nach 2012 geplanten CDM-Projekte von Industrieländern erworben, entspräche dies mehr als 6% ihrer Referenzemissionen im Jahr 1990. Überdies ist nicht sicher, inwieweit alle CDM-Projekte überhaupt mit Emissionsminderungen in Entwicklungsländern verbunden sind. Vielfach ist kritisiert worden, dass Projekte ohnehin durchgeführt worden wären und somit nicht das Kriterium der „Zusätzlichkeit“ erfüllen (Schneider, 2007).

Folgende Auswirkungen auf die globalen Emissionen wären dann plausibel: Schon eine teilweise Nutzung der geschilderten Anrechnungsmöglichkeiten könnte dazu führen, dass die Industriestaaten – außer den USA – ihre Emissionen im Inland bei Einhaltung der vereinbarten Ziele real nur um 10–15% gegenüber 1990 minderten, und die Emissionen der USA 2020 immer noch 5–10% über den Emissionen von 1990 lägen. Die Schwellenländer könnten – wie gewünscht – mit Hilfe des vereinbarten Finanz- und Technologietransfers seitens der Industrieländer und durch deren Möglichkeit, eigene Reduktionsverpflichtungen im Ausland zu erfüllen (nicht zuletzt im Rahmen von Offsetting-Mechanismen wie dem CDM), ihre Emissionssteigerungen gegenüber dem Referenzpfad nachweislich verlangsamen. Dadurch würden die Emissionen Chinas bis 2020 um „nur noch“ 150–200% statt der erwarteten mehr als 300% (IEA, 2008) gegenüber 1990 steigen, die der übrigen Schwellen- und Entwicklungsländer „nur noch“ um 50–100% statt um 70–200%.

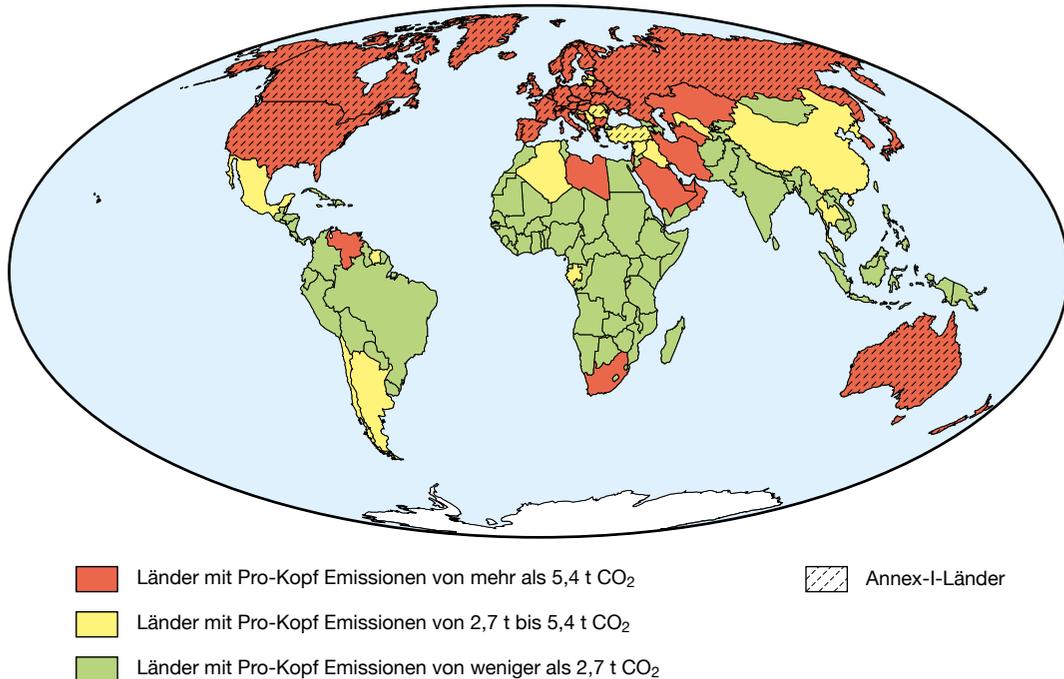
*Ergebnis des Szenarios* ist, dass die globalen Treibhausgasemissionen weiter steigen würden und im Jahr 2020 zwischen 25 und 50% über jenen von 1990 lägen! Da bei einer solchen Entwicklung viele im Sinne des Klimaschutzes erforderliche Transformationen in der globalen Wirtschafts- und Produktionsweise (insbesondere die Abkehr von der Nutzung fossiler Energieträger und ein entsprechender grundlegender Umbau der Energie- und Verkehrssysteme) verzögert oder gar verhindert würden, käme es unzweifelhaft zu Lock-in-Effekten: Eine emissionsintensive Infrastruktur (u.a. Kraftwerkparcs auf Basis fossiler Energieträger) wäre auf Jahrzehnte festgeschrieben, so dass spätere radikale Emissionsminderungen, welche die Einhaltung der 2°C-Leitplanke noch ermöglichen, enorm schwierig würden. In diesem keineswegs unrealistischen Politik-Szenario würde die Weltgesellschaft Kurs auf eine Erderwärmung von 3°C bis zur Jahrhundertwende nehmen.

etwa 1 t pro Kopf zur Mitte des Jahrhunderts. Indien befindet sich derzeit noch in etwa auf diesem Niveau. Insgesamt emittieren rund 30 Staaten jährlich zwischen 2,7 und 5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf.

Weitere 95 Staaten liegen derzeit unter 2,7 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr. Etwa 65 Länder, die meisten von ihnen in Afrika südlich der Sahara, liegen heute noch unterhalb von 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und werden daher vorerst ihre Emissionen noch steigern können (Kap. 5.3).

Dieses Panorama verdeutlicht, dass auch in den meisten Entwicklungsländern die Fortsetzung fossil getriebenen Wachstums keine Option mehr ist, wenn ein gefährlicher Klimawandel verhindert werden soll. Wirtschaftliche und soziale Entwicklungen müssen weltweit von Treibhausgasemissionen abgekoppelt werden.

Legt man nun das gegenwärtige Muster der internationalen Klimapolitik zugrunde, hieße dies, dass zukünftig 192 Vertragsstaaten für etwa 100 Staaten

**Abbildung 4.1-1**

Pro-Kopf-Emissionen von CO<sub>2</sub> im Jahr 2005 differenziert nach Emissionsniveau und Land (ohne Landnutzungsänderungen).  
Quelle: WBGU unter Verwendung von Daten aus WRI-CAIT, 2009

individuelle Emissionsminderungsziele aushandeln müssten. Dieser Prozess führt in die Sackgasse eines „Klimabasars“, auf dem in langen Verhandlungsrunden um Stellen hinter dem Komma gefeilscht wird, während die globale Erwärmung aus dem Ruder läuft (Kasten 4.1-1). Der WBGU entwickelt vor diesem Hintergrund das Grundgerüst für eine globale Klimaschutzarchitektur und zeigt, wie die 2°C-Leitplanke eingehalten werden kann. Kernidee des vorgeschlagenen globalen Klimakompromisses ist, dass sich die Staaten auf eine einfache und gerechte „Klimaformel“ einigen, auf deren Grundlage zukünftig alle Länder mit einem genau bestimmten nationalen Emissionsbudget ausgestattet werden können.

Der WBGU-Ansatz reduziert die Komplexität der Klimaverhandlungen und weist damit einen Weg, um die Selbstfesselung der Staaten in Kopenhagen aufzulösen. Er verdeutlicht auch, wie Technologie- und Finanztransfers zwischen Ländern mit hohen und niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen gestaltet werden können und schafft einen globalen Rahmen für den Übergang zur klimaverträglichen Weltwirtschaft. Das Konzept gibt außerdem wichtige Hinweise darauf, wie die Dekarbonisierung moderner Gesellschaften beschleunigt werden kann.

Damit der Durchbruch in Kopenhagen gelingt, sind nun mutige Vorreiter und Länder gefragt, die

von sich aus die Initiative ergreifen. Sie sollten mit weltpolitischem Weitblick Verantwortungsbereitschaft gegenüber kommenden Generationen beweisen. Barack Obama, Angela Merkel und andere europäische Regierungschefs, Wen Jiabao und Luiz Inácio Lula da Silva können durch mutige Entscheidungen die Welt auf einen kooperativen Klimapfad führen. Wenn sie hier versagen, wären die Folgen von historischer Tragweite.



# Grundsätze, Spielräume und Meilensteine des WBGU-Budgetansatzes

Für die internationalen Verhandlungen zum Klimaschutz schlägt der WBGU einen neuen Ansatz vor, der ausgehend von der ökologisch noch vertretbaren Gesamtmenge an globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 über elementare Gerechtigkeitsprinzipien nationale Emissionsbudgets herleitet. Der WBGU-Budgetansatz kann die Verhandlungen auf der Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kopenhagen im Dezember 2009 wesentlich erleichtern. Auf der Basis einer einfachen, transparenten und fairen „Klimaformel“ werden die Reduktionsverpflichtungen einzelner Länder sowie notwendige Finanztransfers zwischen Industrie- und Entwicklungsländern auf eine nachvollziehbare Grundlage gestellt.

Damit der WBGU-Budgetansatz der internationalen Klimaschutzpolitik langfristig als Kompass und Orientierungsrahmen dienen kann, sollten sich die Länder in Kopenhagen auf folgende Richtungsentscheidungen einigen:

- Die 2°C-Leitplanke wird völkerrechtlich verbindlich festgeschrieben.
- Für Kohlendioxid, dem im Klimaschutz die langfristig entscheidende Rolle zukommt, wird ein mit der 2°C-Leitplanke kompatibles *globales Emissionsbudget* aus fossilen Quellen bis zum Jahr 2050 verbindlich vereinbart.
- Folgende *Meilensteine* werden gesetzt: (1) Die Trendumkehr der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitraum 2015–2020. (2) Die Rückführung der globalen Emissionen bis zur Jahrhundertmitte auf ein Niveau, das mit dem schmalen Emissionsbudget nach 2050 konsistent ist.
- Das globale CO<sub>2</sub>-Budget wird auf Pro-Kopf-Basis gleichmäßig auf die Weltbevölkerung aufgeteilt, so dass sich für alle Länder *nationale CO<sub>2</sub>-Budgets* berechnen lassen. Sie werden ebenfalls verbindlich festgeschrieben und bilden den Orientierungsrahmen dafür, wie schnell und stark die Länder ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren müssen.
- Alle Länder verpflichten sich, international und objektiv überprüfbare *Dekarbonisierungsfahrpläne* vorzulegen, die über den geplanten nationalen Emissionspfad bis 2050 Auskunft geben. Diese Fahrpläne sollen sich neben den nationalen CO<sub>2</sub>-Budgets auch an den nationalen Emissionsminderungspotenzialen orientieren.
- Zusätzlich werden für die Länder mit gegenwärtig hohen Pro-Kopf-Emissionen *Reduktionsverpflichtungen bis 2020* vereinbart, um eine Verschleppung der Dekarbonisierungsanstrengungen zu verhindern.
- Es werden *flexible Mechanismen* (internationaler Emissionshandel und Joint Implementation) sowie angemessene zusätzliche Finanz- und Technologietransferleistungen der Industrieländer vereinbart.
- Es wird beschlossen, eine *Weltklimabank* zu gründen, die für die Überprüfung der nationalen Dekarbonisierungsfahrpläne auf Plausibilität und Umsetzbarkeit sowie für die Operationalisierung der flexiblen Mechanismen und Transferleistungen zuständig ist.
- Über die *separate Regulierung von CO<sub>2</sub> aus nicht fossilen Quellen, der anderen relevanten Treibhausgasen und weiterer treibhauswirksamer Stoffe* eröffnen sich Spielräume für eine schnelle Gesamtminde rung klimaschädlicher Emissionen. Dafür werden folgende Vereinbarungen getroffen: (1) Zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Entwaldung sowie Landnutzungsänderungen und zum Schutz terrestrischer Kohlenstoffspeicher wird ein separates völkerrechtliches Regime vereinbart, in dem rasch greifende Maßnahmen in Entwicklungsländern absolute Priorität genießen. (2) Die bisher im Kioto-Protokoll geregelten fluorierten Treibhausgasen (Industriegase) werden in einer Sondervereinbarung nach dem Vorbild des Montreal-Protokolls behandelt. (3) Die anderen im Kioto-Protokoll geregelten langlebigen Treibhausgasen werden in die Budgetrechnung aufgenommen. (4) Für bisher nicht im Kioto-Protokoll geregelte kurzlebige klimawirksame Stoffe (darunter Rußpartikel und ozonbildende Gase) werden gesonderte Reduktionsverpflichtungen im Rahmen nationaler Luftreinhaltemaßnahmen vereinbart, um eine möglichst schnelle Wirkung zu erzielen.

## 5.1

### Ethische Grundlagen der internationalen Klimapolitik

Vorschläge für eine Verteilung von Emissionsrechten haben besonders dann gute Chancen international akzeptiert zu werden, wenn sie von möglichst vielen Beteiligten und Betroffenen als grundsätzlich gerecht empfunden werden. Der WBGU schlägt daher vor, sich an drei Prinzipien zu orientieren: dem Verursacher-, dem Vorsorge- und dem Gleichheitsprinzip.

Gemäß *Verursacherprinzip* ergibt sich für Industrieländer aufgrund ihrer hohen kumulierten Emissionen in der Vergangenheit die besondere Verpflichtung zu Treibhausgasreduktionen. Kommen die Industrieländer dieser Verantwortung nicht nach, wird kein globaler Klimavertrag zustande kommen.

Im Rahmen des Nachhaltigkeitsgrundsatzes (Art. 3 Abs. 4 Satz 1 UNFCCC, 1992) und auf der Grundlage der 2°C-Leitplanke ist das *Vorsorgeprinzip* (Art. 3 Abs. 3 UNFCCC, 1992) im Sinne rechtzeitigen Handelns zur Verhinderung irreversibler Schäden für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu beachten. Das durch die 2°C-Leitplanke begrenzte globale Emissionsbudget erfordert, dass nicht nur die Zukunft der Industrieländer, sondern auch jene der Schwellen- und Entwicklungsländer möglichst klimaverträglich gestaltet werden muss. Eine primär auf fossilen Energieträgern beruhende nachholende Entwicklung in Afrika, Asien und Lateinamerika während des 21. Jahrhunderts würde die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit aufs Spiel setzen.

Umgekehrt gibt es kein Naturrecht der Menschen in den Industrieländern auf Pro-Kopf-Emissionen, welche die Emissionen der Menschen in den Entwicklungsländern um ein Vielfaches übersteigen. Das *Gleichheitsprinzip*, welches ein unterschiedsloses Recht Einzelner auf Nutzung globaler Gemeinschaftsgüter postuliert, wird von vielen Staaten anerkannt. Es ist bislang aber nicht rechtlich verankert. Die UN-Generalversammlung (Resolution 43/53, 1989) und die Klimarahmenkonvention (Präambel UNFCCC, 1992) stellen fest, dass Änderungen des Erdklimas und ihre nachteiligen Auswirkungen eine gemeinsame Sorge der Menschheit sind („common concern of mankind“).

Diese Sorge lässt gerechtigkeits-theoretisch keine Differenzierung nach einzelstaatlichen oder individuellen Interessen zu (Rawls, 1971). Sie erfordert eine Emissionsverteilung, die sich an einem weltweiten Staatengemeinschafts- und Menschheitsinteresse orientiert. Aus dem Gleichheitsprinzip kann zwar kein individuell durchsetzbares Recht auf gleiche Pro-Kopf-Emissionen abgeleitet werden. Es legt

aber eine Orientierung an den Pro-Kopf-Emissionen bei der Verteilung nationaler Emissionsbudgets nahe. Der WBGU schlägt eine solche Verteilung vor und unterstützt damit die gemeinsame Einschätzung der deutschen Bundeskanzlerin Merkel und des indischen Ministerpräsidenten Singh, dass die langfristige Konvergenz der Pro-Kopf-Emissionsraten einer der wichtigsten Leitsätze für den internationalen Klimaschutz sein sollte (Bundesregierung, 2007).

Die Verteilung eines globalen Emissionsbudgets anhand gleicher Pro-Kopf-Emissionen bedarf allerdings weiterer Differenzierung: Vor dem Hintergrund der in Art. 3 Abs. 1 UNFCCC statuierten „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ der Staaten sind ergänzend das Leistungsfähigkeits- und das Vermeidungsfähigkeitsprinzip zu berücksichtigen. Sie fordern, dass die von den Vertragsparteien zu treffenden Klimaschutzmaßnahmen mit Blick auf ihre finanziellen, wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten identifiziert und vereinbart werden (WBGU, 2003b). Die Berücksichtigung zusätzlicher Prinzipien steht im Einklang mit dem Gleichheitsprinzip, wonach wesentlich gleiche Sachverhalte grundsätzlich gleich behandelt werden sollen. Eine Ungleichbehandlung von grundsätzlich Gleichem ist aber dann möglich, wenn sie sachlich überzeugend gerechtfertigt werden kann. Als Rechtfertigungsgründe einer Ungleichbehandlung wesentlich gleicher Sachverhalte kommen die Leistungs- und Vermeidungsfähigkeit sowie der einzelstaatliche Verursacherbeitrag in Betracht, so dass die Vertragsparteien trotz ihrer gemeinsamen Verantwortung unterschiedliche Klimaschutzlasten zu tragen haben.

In Anerkennung der genannten Prinzipien und mit Blick auf die 2°C-Leitplanke schlägt der WBGU vor, bei den weiteren Klimaverhandlungen nicht mehr einzelne Reduktionsanforderungen für verschiedene Ländergruppen oder einzelne Länder frei zu verhandeln, sondern diese ausgehend von einem global zulässigen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget aufgrund der genannten Gerechtigkeitsprinzipien abzuleiten. Auf Grundlage der dargelegten ethischen Prinzipien kommt in erster Näherung die gleiche Pro-Kopf-Verteilung von Emissionsrechten zum Tragen.

## 5.2

### Der Budgetansatz des WBGU

#### 5.2.1

##### Der Grundgedanke

Der WBGU hat bereits 1995 in einer Stellungnahme zur Vertragsstaatenkonferenz der UNFCCC in Berlin (COP 1) die Vorstellung entwickelt, eine Ober-

grenze für die gerade noch akzeptable Erhöhung der globalen Mitteltemperatur zu benennen (2°C-Leitplanke; Kap. 2.4), und davon ausgehend mit Hilfe eines Inversansatzes, d.h. über eine Rückrechnung die weltweit notwendigen Emissionsreduktionen zu ermitteln (WBGU, 1995). Der Budgetansatz entwickelt diesen Ansatz konsequent weiter und macht ihn anschlussfähig an die aktuelle internationale Klimapolitik.

Ausgehend von der wissenschaftlichen Erkenntnis, dass für die Begrenzung der Klimaerwärmung auf 2°C die insgesamt durch die Menschen in die Atmosphäre eingetragene Menge an CO<sub>2</sub> limitiert werden muss (Kap. 2 und 3), schlägt der WBGU vor, eine verbindliche Obergrenze für die bis 2050 (bzw. bis zu einem anderen sinnvollen Zeitpunkt) insgesamt zu emittierende Menge an CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen zu vereinbaren. Diese Begrenzung ist eine notwendige Voraussetzung dafür, die 2°C-Leitplanke mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einzuhalten. Damit stünde der Menschheit eine festgelegte Emissionsmenge zur Verfügung, über deren Aufteilung verhandelt werden kann. Dieses Globalbudget kann anhand einer weltweit gleichen Zuteilung pro Kopf in nationale Emissionsbudgets aufgliedert werden (Kap. 5.2.2). Nach 2050 stünde nur noch ein kleines globales Restbudget zur Verfügung.

Aufgrund der sozioökonomischen Gegebenheiten kann die Nutzung des globalen Budgets jedoch zeitlich nicht völlig frei erfolgen, denn die 2°C-Leitplanke lässt sich nur einhalten, wenn realistische Dekarbonisierungsdynamiken zu Grunde gelegt werden (Kap. 3): Erstens erfordert der Umbau emissionsintensiver Infrastrukturen und Produktionsbedingungen sowie die Änderung von Konsummustern Zeit, so dass die globalen Emissionen nicht beliebig schnell sinken können. Zweitens ist ein möglichst früher Einstieg in die globale Dekarbonisierung erforderlich, da dessen Verschiebung in die Zukunft Emissionsminderungen mit nach heutigem Wissensstand unerreichbar hoher Geschwindigkeit erfordern würde. Drittens muss am Ende des Budgetzeitraums, etwa im Jahr 2050, global eine weitgehend emissionsfreie Wirtschaftsweise erreicht sein, da der geophysikalische Spielraum in den darauf folgenden Jahrzehnten äußerst gering sein dürfte und die gerade noch verträgliche Anreicherung des Systems Erde mit CO<sub>2</sub> für lange Zeit bestehen bleibt.

Der Budgetansatz muss also durch spezifische Regeln ausgestaltet werden. Dafür macht der WBGU folgende Vorschläge:

1. *Globale Zwischenziele:* Als wichtiger Meilenstein sollte festgelegt werden, dass der Scheitelpunkt der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionskurve im Zeitraum 2015–2020 erreicht sein muss. Ein weiterer Mei-

lenstein ist, dass bis 2050 eine weitgehende Dekarbonisierung erreicht sein muss.

2. *Nationale Dekarbonisierungsfahrpläne und Zwischenziele:* Alle Staaten müssten sich verpflichten, nationale Strategien zur Bewirtschaftung ihrer jeweiligen Budgets („Dekarbonisierungsfahrpläne“) zu entwickeln und vorzulegen. Diese Fahrpläne sollten sich insbesondere an realistischen Einschätzungen der nationalen Emissionsminderungspotenziale als Funktion der Zeit orientieren und durch eine unabhängige internationale Institution auf Plausibilität und Umsetzbarkeit überprüft werden. Damit würde die Gefahr eingegrenzt werden, dass einzelne Regierungen die notwendigen Handlungsschritte in die ferne Zukunft und damit auf zukünftige Generationen verschieben (Kap. 5.4). Die Stärkung nationaler Eigenverantwortung durch die ansonsten große Flexibilität bei der Wahl der Transformationspfade und die Rechenschaftspflicht gegenüber der Weltgemeinschaft werden so miteinander verknüpft. Die Dekarbonisierungsfahrpläne sollten Zwischenziele für die nationalen Emissionen u.a. bis 2020 enthalten, da zeitnahes Handeln notwendig ist, um die Weichen für den Umbau systemrelevanter Infrastrukturen (z.B. Strom- oder Verkehrsnetze) in Richtung Klimaverträglichkeit zu stellen (Kap. 5.3).
3. *Interregionale Flexibilität:* Der WBGU empfiehlt dringend die möglichst uneingeschränkte und effiziente weltweite Bewirtschaftung der nationalen Budgets im Rahmen eines globalen CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystems. Dies setzt voraus, dass die nationalen Budgets zu handelbaren Rechten erklärt werden. Der zwischenstaatliche Emissionshandel lässt bi- und multilaterale Transaktionen verschiedensten Charakters zu, ja ermutigt sie sogar. Der Handel ermöglicht zum Beispiel Industrieländern, die ihre CO<sub>2</sub>-Budgets nahezu aufgebraucht haben, Zertifikate zu kaufen; gleichzeitig schafft er Anreize für eigene Emissionsminderungen. Der Emissionshandel generiert bedeutende Kapitalflüsse in die Entwicklungsländer und setzt auch dort Anreize für Emissionsbegrenzungen, da „überschüssige“ CO<sub>2</sub>-Budgets gehandelt und monetarisiert werden können.

## 5.2.2

### Berechnung nationaler Emissionsbudgets

Für den vorgeschlagenen Budgetansatz wird das innerhalb eines festgelegten Zeitraums global verfügbare Gesamtbudget an fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt, das die Einhaltung der 2°C-Leitplanke erlaubt. Diese Menge wird unter den einzelnen Staa-

ten aufgeteilt, wobei sich die Allokation an gleichen kumulierten Pro-Kopf-Emissionen über einen festgelegten Zeitraum orientieren sollte.

Die explizite Bestimmung der Nationalbudgets ist dann außerordentlich einfach, weil der Ansatz nur vier – klimapolitische, d.h. verhandelbare – Parameter enthält: Neben dem Zeitraum für das Gesamtbudget mit *Anfangs-* und *Endjahr* muss die *Wahrscheinlichkeit* festgelegt werden, mit der die 2°C-Grenze gehalten werden soll und schließlich ein *demografisches Referenzjahr* für die zu Grunde gelegte Bevölkerungszahl. Der WBGU schlägt vor, als generellen Endpunkt für den Budgetzeitraum das Jahr 2050 zu wählen, da bis dahin zweifellos der Großteil der erforderlichen Emissionsreduktionen erfolgt sein muss (Kap. 3).

Die anderen drei Parameter bestimmen die Höhe des Gesamtbudgets bzw. dessen relative Aufteilung. Somit handelt es sich um Größen von herausragender politischer Relevanz.

- Das *Anfangsjahr* bestimmt, ab wann die weltweite faire Emissionsbewirtschaftung – also der vorgeschlagene Verteilungsschlüssel – gelten soll. Wird das Anfangsjahr in die Vergangenheit gelegt, umfasst das zu verteilende Budget auch bereits getätigte Emissionen. Dies hat zwangsläufig zur Folge, dass Ländern mit hohen historischen Pro-Kopf-Emissionen künftig nur noch ein entsprechend schmaleres Budget zur Verfügung steht.
- Aufgrund der Komplexität des Klimasystems kann nicht exakt berechnet werden, welche zusätzliche Menge an CO<sub>2</sub> die Erdatmosphäre noch aufnehmen kann, ohne dass die 2°C-Leitplanke durchbrochen wird. Mit Hilfe von sogenannten Ensemble-Rechnungen mit den weltweit besten Simulationsmodellen und von fortgeschrittenen statistischen Verfahren können jedoch sehr wohl *Wahrscheinlichkeiten* dafür angegeben werden, dass eine bestimmte Gesamtemissionsmenge „unterkritisch“ bleibt, also mit der Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C kompatibel ist (Kap. 3). Die Höhe des zu verteilenden globalen Budgets ergibt somit direkt aus einer weltpolitischen Risikoabwägung: Je höher die Wahrscheinlichkeit für das Halten der 2°C-Grenze gewählt wird, desto kleiner muss das im relevanten Zeitraum verfügbare Budget ausfallen. An dieser Stelle sollte angemerkt werden, dass Wahrscheinlichkeiten für die Schadensabwendung im 50–90%-Bereich, wie sie im Zusammenhang mit der Klimaproblematik üblicherweise diskutiert werden, im Alltagszusammenhang (Verkehrssicherheit, Infektionsgefahr usw.) völlig inakzeptabel wären. Für eine wirklich angemessene Vorsorgepolitik sind die globalen Umweltveränderungen jedoch schon zu weit fortgeschritten.

### Kasten 5.2-1

#### Mathematische Beschreibung des Budgetansatzes

Die zentrale Größe ist das globale CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget aus fossilen Quellen  $C_{glob}(p)$ , welches innerhalb eines bestimmten Zeitraums  $T_1$  bis  $T_2$  höchstens freigesetzt werden darf, damit die 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit  $p$  eingehalten werden kann. Hat man  $p$  (aufgrund vorsorgepolitischer Erwägungen) festgelegt, dann lässt sich  $C_{glob}(p)$  im Rahmen gewisser Unsicherheiten aus Modellstudien bestimmen (Meinshausen et al., 2009). Der globale Emissionspfad  $E_{glob}(t)$  muss mit dieser Randbedingung verträglich sein, d.h. die folgende Gleichung erfüllen:

Natürlich wäre auch eine „Unternutzung“ der Ressource Atmosphäre denkbar, aber man kann davon ausgehen, dass der globale Emissionsspielraum in der Realität voll ausgeschöpft werden wird. Zu beachten ist, dass Gleichung 1 allein die Fläche unter der Weltemissionskurve fixiert, ansonsten aber alle Freiheiten für die zeitliche Gestaltung lässt.

$$\int_{T_1}^{T_2} E_{glob}(t) dt = C_{glob}(p) \quad (1)$$

Das nationale Emissionsbudget  $C_{nat}$  ist die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>, die ein bestimmtes Land im Zeitraum  $T_1$  bis  $T_2$  ausstoßen darf. Es berechnet sich als Teilmenge des globalen Emissionsbudgets  $C_{glob}(p)$  aus dem relativen Bevölkerungsgewicht des gegebenen Landes im demografischen Referenzjahr  $T_M$ . Der Anteilfaktor ist also der Quotient aus der nationalen Bevölkerungszahl  $M_{nat}(T_M)$  zum Zeitpunkt  $T_M$  und der gesamten Weltbevölkerung  $M_{glob}(T_M)$  zum selben Zeitpunkt.

Der Emissionspfad  $E_{nat}(t)$  eines Landes muss damit so gestaltet werden, dass er das zugewiesene Budget beachtet:

Gleichung 2 stellt gewissermaßen die globale „Klimaformel“ im Rahmen der Budgetphilosophie dar.

$$\int_{T_1}^{T_2} E_{nat}(t) dt = C_{nat} = C_{glob}(p) \frac{M_{nat}(T_M)}{M_{glob}(T_M)} \quad (2)$$

- Das *demografische Referenzjahr* bestimmt über das für dieses Jahr geltende relative Bevölkerungsgewicht eines Landes den jeweiligen nationalen Anteil am globalen Budget. Je später das Referenzjahr gewählt wird, umso vorteilhafter ist die Zuteilung für Länder mit rasch wachsender Bevölkerung, denn ihr relatives demografisches Gewicht nimmt beständig zu. Anstelle der Bevölkerungszahl in einem einzigen Jahr könnte man auch die (mittlere) Bevölkerungsdynamik über einen größeren Zeitraum zu Grunde legen. Für ein festes Referenzjahr spricht, dass es in Ländern mit hohem Bevölkerungswachstum als Anreiz für demographischen Wandel wirken könnte, da

mit einem ungebremsen Bevölkerungswachstum nach dem Referenzjahr die zugeteilten Budgets nur geringere Pro-Kopf-Emissionen erlauben würden.

Die mathematische Beschreibung des Budgetansatzes findet sich in Kasten 5.2-1. In Kapitel 5.3 illustriert der WBGU die Bedeutung und Wirkung der einzelnen Parameter und stellt zwei politische Optionen zur Ausgestaltung des Ansatzes vor. In Kapitel 5.4 wird dann gezeigt, wie dieser Lösungsvorschlag für den globalen Klimaschutz institutionell flankiert werden muss, um seine Vorteile (insbesondere Flexibilität) optimal zu nutzen ohne das essenzielle Ziel – die Bewahrung zuträglicher Klimabedingungen – zu gefährden.

### 5.3 Zwei politische Optionen für die Ausgestaltung des Budgetansatzes

Im Folgenden werden zwei mögliche Konkretisierungen des WBGU-Budgetansatzes dargestellt, sowie ein Vorschlag zur Ableitung von Meilensteinen im Sinne mittelfristiger Emissionsminderungsziele erläutert. Der WBGU legt das Ende des Budgetzeitraums (Kap. 5.2) in beiden Optionen auf das Jahr 2050, da unser heutiges Verständnis der relevanten Systemdynamiken eine möglichst rasche Überwindung des fossilen Zeitalters nahelegt. Das Vorsorgeprinzip und die Verantwortung gegenüber künftigen Generationen verlangen ein Gesamtbudget, das die Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter 2°C mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit realisiert. Angesichts der erheblichen Risiken, die mit einer darüber hinauschießenden Erderwärmung verbunden sind (Kap. 2), sind die hier angesetzten Wahrscheinlichkeiten von 75% und 67% der Notwendigkeit geschuldet, einen Kompromiss zwischen wissen-

schaftlich Erforderlichem und politisch sowie ökonomisch Machbarem einzugehen.

#### 5.3.1 Option I: „Historische Verantwortung“

Das Jahr 1990 lässt sich als Beginn des Budgetzeitraums rechtfertigen, um dem Verursacherprinzip und der historischen Verantwortung der Industrieländer Rechnung zu tragen, weil in diesem Jahr der erste IPCC-Bericht erschien. Spätestens zu diesem Zeitpunkt waren alle Staaten über das Klimaproblem sowie seine Ursachen und Wirkungen umfassend informiert. Tabelle 5.3-1 listet exemplarisch nationale Emissionsbudgets auf, die sich bei einer gleichmäßigen Pro-Kopf-Aufteilung des globalen kumulativen CO<sub>2</sub>-Budgets zwischen 1990 und 2050 ergeben. Es wird eine 75%ige Wahrscheinlichkeit für das Halten der 2°C-Leitplanke gewählt; daraus errechnet sich mittels der einschlägigen klimawissenschaftlichen Betrachtungen ein Gesamtbudget von 1.100 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen (Kasten 5.3-1). Als demografisches Referenzjahr wird ebenfalls 1990 bestimmt.

Für jedes Land wird also ein Emissionsbudget abgeleitet, das im Gesamtzeitraum von sechs Jahrzehnten zur Verfügung steht. Zieht man von diesem Budget jeweils die bereits zwischen 1990 und 2009 erfolgten Emissionen ab, ergibt sich die Restmenge, die den Staaten bis 2050 tatsächlich noch zur Verfügung steht. Beispielsweise bekämen die USA, Deutschland und Russland in dieser Option *negative* Emissionsbudgets bis 2050 (Abb. 5.3-1), wären also bereits heute „kohlenstoffinsolvent“. Japan hätte die CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte, die ihm für den gesamten Zeitraum 1990–2050 zustünden, schon heute nahezu aufgebraucht. Das würde diese Staaten dazu zwingen, in erheblichem Maße Emissionsrechte von Län-

#### Kasten 5.3-1 Herleitung des Gesamtbudgets für Option I

Nach Meinshausen et al. (2009) führt die Emission von 1.000 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus anthropogenen (d.h. sowohl fossilen als auch landnutzungsbedingten) Quellen, im Zeitraum 2000–2050 mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% dazu, die 2°C-Leitplanke zu überschreiten. Unter der Annahme, dass zwischen 2000 und 2009 bereits ca. 350 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus *anthropogenen Quellen* emittiert wurden, und die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Landnutzung im Zeitraum 2010–2050 auf ca. 50 Mrd. t CO<sub>2</sub> beschränkt werden können, verbleibt ein Budget von 600 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus *fossilen Quellen* für den Zeitraum 2010–2050. Gegenwärtig liegen die Emissionen aus der Landnutzung bei mehr als 5 Mrd. t CO<sub>2</sub> pro Jahr (Le Queré, 2008), Szenarien für die Zukunft zeigen eine große

Spannbreite. Der WBGU geht hier von einem relativ optimistischen Szenario aus, bei dem die gegenwärtig hohen Emissionen aus der fortschreitenden Entwaldung in Entwicklungsländern schnell zurückgefahren werden können (Kap. 5.7). Gelingt dies nicht, stünde ein noch geringeres Budget für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen zur Verfügung.

Zusammen mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen im Zeitraum 1990–2009 von etwa 500 Mrd. t CO<sub>2</sub> (Le Queré, 2008, und eigene Abschätzung) ergibt sich damit insgesamt ein globales Budget von 1.100 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus *fossilen Quellen* für den Zeitraum 1990–2050, das die Einhaltung der 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von 75% erlaubt.

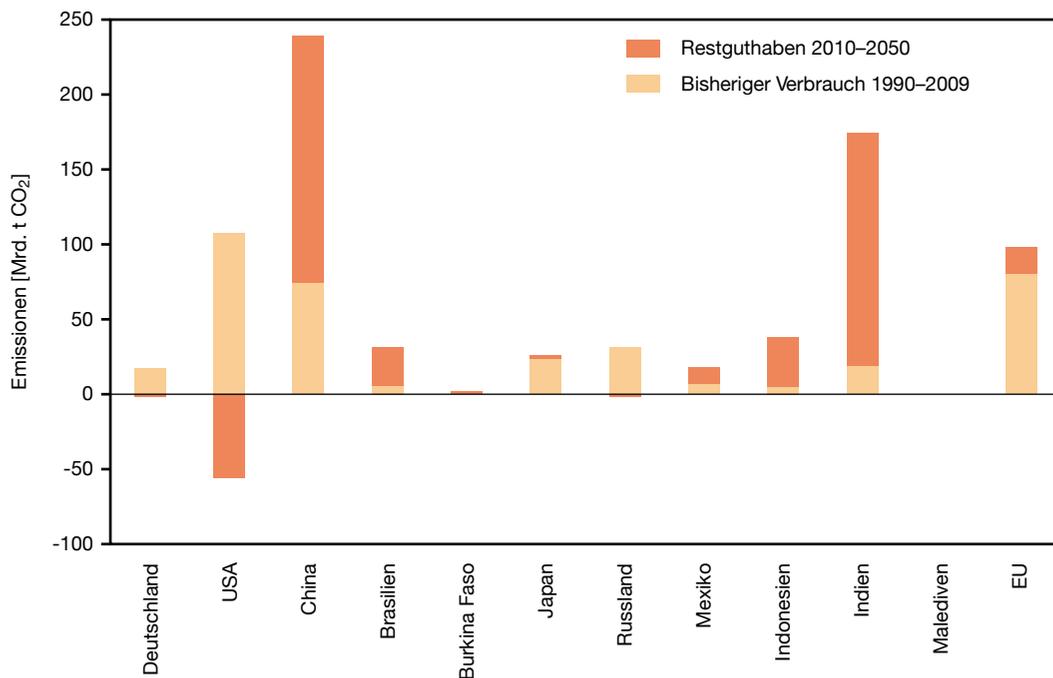
Nach 2050 darf nur noch ein kleiner Bruchteil (höchstens etwa ein Fünftel) der Menge emittiert werden, die bis 2050 noch zur Verfügung steht.

**Tabelle 5.3-1**

Option I „Historische Verantwortung“: Zeitraum 1990–2050; 75 % Wahrscheinlichkeit, die 2°C-Leitplanke einzuhalten; 1990 als Referenzjahr für Bevölkerungsdaten. Berücksichtigt sind ausschließlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Jahr 2008 sind Schätzungen.

Quellen: WBGU unter Verwendung von Daten aus: Meinshausen et al., 2009; WRI-CAIT, 2009; U.S. Census Bureau, 2009

	Anteil an Weltbevölkerung im Jahr 1990 [%]	Gesamt-budget 1990–2050 [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]	Bisherige Emissionen 1990–2009 [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]	Budget 2010–2050 [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]		Emissionen im Jahr 2008 (Schätzungen) [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]	Reichweite des Budgets bei jährlichen Emissionen wie 2008 [Jahre]
				Gesamter Zeitraum	Pro Jahr		
<b>Deutschland</b>	1,5	17	17	-0,90	-0,022	0,91	-1
<b>USA</b>	4,7	52	108	-56	-1,4	6,1	-9
<b>China</b>	22	239	75	164	4,0	6,2	26
<b>Brasilien</b>	2,9	31	6,1	25	0,62	0,46	55
<b>Burkina Faso</b>	0,16	1,7	0,0090	1,7	0,042	0,00062	2.810
<b>Japan</b>	2,3	26	23	2,4	0,058	1,3	2
<b>Russland</b>	2,8	31	31	-0,29	-0,0071	1,6	0
<b>Mexiko</b>	1,6	18	6,9	11	0,26	0,46	23
<b>Indonesien</b>	3,4	38	4,8	33	0,81	0,38	88
<b>Indien</b>	16	175	19	156	3,8	1,5	103
<b>Malediven</b>	0,0041	0,045	0,0098	0,035	0,00086	0,00071	50
<b>EU</b>	8,9	98	81	18	0,43	4,5	4
<b>Welt</b>	100	1.100	500	600	15	30	20

**Abbildung 5.3-1**

Summe der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990–2009 (bisheriger Verbrauch) und noch zur Verfügung stehende CO<sub>2</sub>-Budgets bis 2050 entsprechend Option I „Historische Verantwortung“ (Tab. 5.3-1). Die USA, Deutschland und Russland haben bereits heute mehr emittiert, als ihnen nach diesem Ansatz für den Zeitraum 1990–2050 zustünde.

Quelle: WBGU

dern zu erwerben, die vermutlich auch künftig ihre zugewiesenen Budgets nicht voll ausschöpfen werden. Dieser Handel mit Zertifikaten würde zweifellos zu bedeutenden finanziellen Transfers von Nord nach Süd führen.

Diese Option entspricht dem Verursacherprinzip auch rückwirkend, da sie bereits getätigte Emissionen der Industrieländer berücksichtigt. Politisch erscheint sie aber schwer durchsetzbar, da sie die Handlungsspielräume der Industrieländer extrem einengen würde. Um die sich derzeit entwickelnde Dynamik in der globalen Klimapolitik nicht auszubremsen, empfiehlt der WBGU die im Folgenden dargestellte Option II, die von heute nach vorne blickt und sich damit an der Verantwortung aller Staaten für die zukünftigen Emissionen orientiert. Der historischen Verantwortung kann jedoch auch in diesem Szenario durch pauschale Kompensationsleistungen (etwa im Anpassungsbereich) der Industrie- an Schwellen- und Entwicklungsländer Rechnung getragen werden.

### 5.3.2

#### Option II: „Zukunftsverantwortung“

Mit Blick auf die derzeitigen Verhandlungsvorschläge ist vermutlich ein späterer Anfangszeitpunkt als 1990 sinnvoll. Der WBGU empfiehlt daher eine gleiche Pro-Kopf-Verteilung der zukünftig noch zulässigen CO<sub>2</sub>-Emissionen ab heute bzw. ab dem Inkraft-Treten eines neuen Klimaschutzvertrags. Um größere politische Spielräume zu schaffen, muss in dieser Option bewusst ein größeres Klimarisiko veranschlagt werden, indem die Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung der 2°C-Linie nur noch auf zwei Drittel (67%) festgesetzt wird. Tabelle 5.3-2 zeigt exemplarisch resultierende nationale Emissionsbudgets, bei denen das unter dieser Voraussetzung global zulässige Budget von 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen zwischen 2010 und 2050 (Kasten 5.3-2) gleichmäßig auf die Weltbevölkerung verteilt wird.

Als demografisches Referenzjahr bietet sich in diesem Fall das Anfangsjahr 2010 an. Nach dieser Option würde jedem Menschen (bezogen auf die Weltbevölkerung in 2010) ein Budget von knapp 110 t an CO<sub>2</sub>-Emissionen für die kommenden 40 Jahre zur Verfügung gestellt, was durchschnittlichen jährlichen Pro-Kopf-Emissionen von etwa 2,7 t CO<sub>2</sub> entspricht. Um jedoch anschlussfähig an die noch erlaubten globalen Emissionen nach 2050 zu sein, müssen die mittleren Pro-Kopf-Emissionen weltweit am Ende des Budgetzeitraums weit unter diesem Durchschnittswert liegen: Bis 2050 sollten die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund zwei Drittel (gegenüber 1990) reduziert sein, was bei wachsender Weltbevölkerung zu

jährlichen Pro-Kopf-Emissionen von etwa 1 t CO<sub>2</sub> führen würde.

Abbildung 5.3-2 zeigt für ausgewählte Länder das mittlere Jahresbudget, das ihnen gemäß Option II zustünde, im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 2005.

Alle Zahlen beziehen sich auf die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen (also ohne Landnutzungsänderungen), doch könnten Entwaldung und andere Quellen langlebiger Treibhausgase ebenfalls in den Budgetansatz einbezogen werden. Gerade in Bezug auf Landnutzungsänderungen hält der WBGU jedoch eine separate Regelung für erfolversprechender (Kap. 5.7). Grundsätzlich ist wichtig, dass sich aus den abgeleiteten nationalen Budgets eine Gesamtverantwortung der einzelnen Länder für den Klimaschutz ergibt – nicht alles muss oder kann dabei durch heimische Emissionsminderungen erreicht werden. Die vorgeschlagene faire Allokation von Rechten sollte nicht zuletzt als Grundlage für eine effektive und effiziente Teilung von Lasten aufgefasst werden. Diese kann auf vielfältige Weise gelingen: Neben den heimischen Emissionsminderungen dürfte der Zertifikatehandel eine entscheidende Rolle spielen, aber auch andere flexible Mechanismen internationaler Klimakooperation sowie Finanz- und Technologietransfers, die dazu beitragen, überall in der Welt klimaverträgliche Entwicklungen zu beschleunigen.

Die einzelnen Länder lassen sich grob nach der zeitlichen Reichweite ihres zugeteilten Budgets (ohne Emissionshandel) in drei Gruppen einteilen:

- *Ländergruppe 1*: Länder, deren Budget bei derzeitiger Emissionsrate in *weniger als 20 Jahren* überzogen wäre. Diese Länder müssten daher im Falle einer linearen Minderung schon vor 2050 Null-emissionen erreichen, um mit ihrem Budget auszukommen.

#### Kasten 5.3-2

##### Herleitung des Gesamtbudgets für Option II

Nach Meinshausen et al. (2009) führt die Emission von 1.160 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus *anthropogenen Quellen* im Zeitraum 2000–2050 mit einer Wahrscheinlichkeit von 33% dazu, die 2°C-Leitplanke zu überschreiten. Wie in Kasten 5.2-2 (Option I) wurde angenommen, dass zwischen 2000 und 2009 bereits ca. 350 Gt CO<sub>2</sub> aus anthropogenen Quellen emittiert werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Landnutzung im Zeitraum 2010–2050 werden mit ca. 60 Mrd. t CO<sub>2</sub> angesetzt. Damit ergibt sich ein globales Budget von 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus *fossilen Quellen* für den Zeitraum 2010–2050, das die Einhaltung der 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% erlaubt.

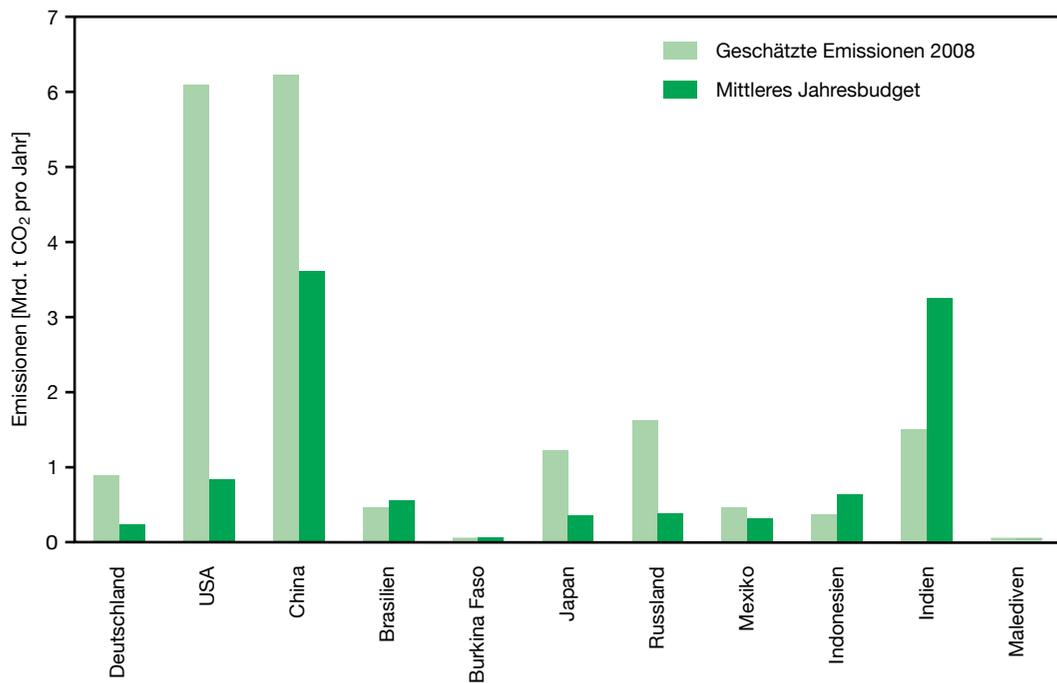
Nach 2050 darf nur noch ein kleiner Bruchteil (höchstens etwa ein Fünftel) der Menge emittiert werden, die bis 2050 noch zur Verfügung steht.

**Tabelle 5.3-2**

Option II „Zukunftsverantwortung“: Zeitraum 2010–2050; 67 % Wahrscheinlichkeit, die 2°C-Leitplanke einzuhalten; 2010 als Referenzjahr für Bevölkerungsdaten. Berücksichtigt sind ausschließlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind Schätzungen für das Jahr 2008, die Bevölkerungszahlen Schätzungen für das Jahr 2010.

Quellen: WBGU unter Verwendung von Daten aus: Meinshausen et al., 2009; WRI-CAIT, 2009; U.S. Census Bureau, 2009

	Anteil an Weltbevölkerung im Jahr 2010 (Schätzung) [%]	Budget 2010–2050 [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]		Emissionen im Jahr 2008 (Schätzung) [Mrd. t CO <sub>2</sub> ]	Reichweite des Budgets bei jährlichen Emissionen wie 2008 [Jahre]
		Gesamter Zeitraum	Pro Jahr		
<b>Deutschland</b>	1,2	9,0	0,22	0,91	10
<b>USA</b>	4,6	35	0,85	6,1	6
<b>China</b>	20	148	3,6	6,2	24
<b>Brasilien</b>	2,8	21	0,52	0,46	46
<b>Burkina Faso</b>	0,24	1,8	0,043	0,00062	2.892
<b>Japan</b>	1,8	14	0,34	1,3	11
<b>Russland</b>	2,0	15	0,37	1,6	9
<b>Mexiko</b>	1,6	12	0,29	0,46	26
<b>Indonesien</b>	3,4	25	0,62	0,38	67
<b>Indien</b>	18	133	3,2	1,5	88
<b>Malediven</b>	0,0058	0,043	0,0011	0,00071	61
<b>EU</b>	7,2	54	1,3	4,5	12
<b>Welt</b>	100	750	18	30	25

**Abbildung 5.3-2**

Fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2008 (Schätzwerte) und zulässiges durchschnittliches Jahresbudget entsprechend der Option II „Zukunftsverantwortung“ für ausgewählte Länder (Tab. 5.3-2).

Quelle: WBGU

- *Ländergruppe 2*: Länder, deren Budget bei derzeitiger Emissionsrate für 20–40 Jahre reichen würde, d.h. bis maximal zum Ende des globalen Budgetzeitraums im Jahr 2050.
- *Ländergruppe 3*: Länder, deren Budget bei derzeitiger Emissionsrate für *mehr als 40 Jahre* reichen würde, d.h. über das Ende des globalen Budgetzeitraums hinaus.

Für alle entsprechenden Berechnungen wurden für die „aktuellen Emissionsraten“ jeweils Schätzwerte für das Jahr 2008 zugrunde gelegt.

#### LÄNDERGRUPPE 1: „UMFASSENDE DEKARBONISIERUNG VOR 2050“

Diese Gruppe umfasst bei dem oben genannten globalen Budget von 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> rund 60 Staaten, nämlich alle jene mit gegenwärtig mehr als 5,4 t jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf. Neben den Industrieländern (fast alle Annex-I-Staaten) finden sich auch eine Reihe arabischer Staaten sowie Venezuela, Südafrika und Iran in dieser Kategorie. Die USA und Australien führen (abgesehen von einer Handvoll sehr kleiner Länder wie z.B. Katar oder Kuwait) diese Gruppe nach Pro-Kopf-Emissionen an. Für beide Nationen würde das Budget bei fortgeschriebenen Emissionen nur noch für knapp 6 Jahre reichen. Unter Annahme einer linearen Reduktion ab 2010 müssten sie also theoretisch bereits innerhalb von 11 Jahren Nullemissionen erreichen. Aufgrund ihrer außergewöhnlich hohen Pro-Kopf-Emissionen von 19 t CO<sub>2</sub> pro Jahr sind für die USA und Australien radikale Klimaschutzanstrengungen in Zukunft eine unausweichliche Folge jedes global einigermäßen gerechten Ansatzes.

Die bis 2050 verfügbaren CO<sub>2</sub>-Budgets für Deutschland und die EU würden bei Aufrechterhaltung des heutigen Emissionsniveaus (D: 11 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr bzw. EU: 9 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr) nur 10 bzw. 12 Jahre reichen. Vor diesem Hintergrund wird klar, dass die Industrieländer eine schnelle und umfassende Dekarbonisierung ihrer Wirtschaftsweise bis 2050 durchführen müssen – wenn sie überhaupt glaubhaft für den weltweiten Klimaschutz eintreten wollen. Doch selbst drastische heimische Minderungsanstrengungen werden für sie nicht ausreichen, um innerhalb ihrer Budgets zu bleiben. Sie sind daher auf umfangreiche Kooperationen mit Entwicklungsländern angewiesen, die noch Emissionsspielräume besitzen und diese insbesondere in den internationalen Emissionshandel einbringen können.

#### LÄNDERGRUPPE 2: „EMISSIONSSTABILISIERUNG UND ÜBERGANG ZUR DEKARBONISIERUNG“

Diese Gruppe umfasst rund 30 Staaten. Dies sind alle, die heute zwischen 2,7 und 5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr in die Atmosphäre eintragen. Der bei weitem

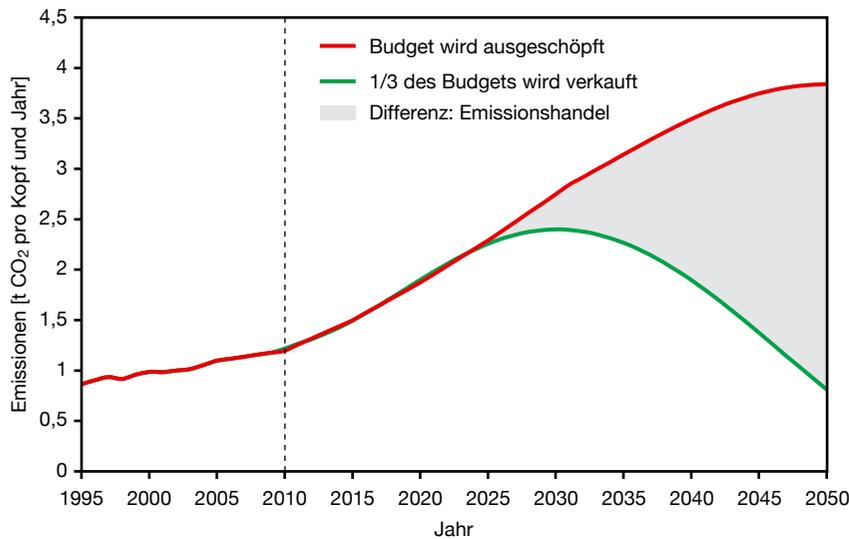
größte Emittent ist hier China mit 75% des Gesamtausstoßes der Gruppe. Mit 4,6 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr entsprechen Chinas derzeitige fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen (Schätzwerte für 2008) fast genau dem Weltdurchschnitt von 4,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr. Bei konstantem Emissionsniveau würde das Budget von China nur noch für 24 Jahre reichen; dies gilt in etwa auch für die Welt insgesamt. Damit wird deutlich, dass China nach der Logik des Budgetansatzes seine Emissionen schnell stabilisieren und anschließend signifikant mindern muss. Würde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß etwa bis 2020 noch anwachsen, dann müsste vor 2050 eine Reduktion auf praktisch Null erfolgen, um im Budget zu bleiben.

Andere Schwellenländer wie Mexiko, Argentinien, Chile und Thailand befinden sich in einer vergleichbaren Situation. Auch ihre jeweiligen Budgets würden bei gleichbleibenden Emissionen nur noch 24–27 Jahre ausreichen.

Am „unteren“ Ende von Gruppe 2 befinden sich Staaten wie Kuba, Tunesien oder Syrien mit 2,7–3,0 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr, deren Budgets bei konstantem Emissionsniveau noch eine Reichweite von 36–40 Jahre haben. Insofern könnten sie ihre Emissionen nahezu konstant fortführen. Allerdings bleibt ihnen – wie allen anderen Staaten – nach 2050 nur noch ein kleines CO<sub>2</sub>-Budget für die zweite Jahrhunderthälfte. Da sprunghafte Emissionsminderungen grundsätzlich kaum möglich sein dürften, müssten auch diese Länder bis 2050 ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß stark reduziert haben, damit dieser dann im Bereich von etwa 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr läge. Ein typischer Pfad eines solchen Landes im Rahmen des Budgetansatzes wäre ein allmählich abflachendes Wachstum der Emissionen bis zu einem Maximum im Jahr 2025, wo dann das Niveau etwa ein Drittel höher liegen könnte als heute. Danach folgte die Dekarbonisierung bis 2050, also rund ein Jahrzehnt später als in den Industriestaaten. Bei ehrgeiziger Dekarbonisierung und gleichzeitig intensiver Zusammenarbeit mit Industriestaaten könnten einige dieser Länder möglicherweise sogar Emissionsrechte verkaufen und damit zusätzliche Finanzmittel für die Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise mobilisieren. Allerdings erscheint es eher plausibel, dass diese Ländergruppe insgesamt Emissionsrechte hinzukaufen muss (Abb. 5.3-5).

#### LÄNDERGRUPPE 3: „HANDELSMACHT DURCH VERMIEDENE KARBONISIERUNG“

Diese Gruppe umfasst alle weiteren (rund 95) Staaten, also jene mit Emissionen von weniger als 2,7 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr. Insgesamt tragen diese Staaten nur 12% zum aktuellen globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei, stellen aber 2010 mehr als 50% der Weltbevölkerung und verfügen damit über mehr als die Hälfte

**Abbildung 5.3-3**

Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe für Indien, die mit dem Budget vereinbar wären. Dargestellte CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf sind bezogen auf die Bevölkerung von 2010 und berücksichtigen kein Bevölkerungswachstum. Abgebildet sind ein theoretischer Pfad mit vollständiger Ausschöpfung des Budgets (rot), sowie ein Pfad, in dem Indien ein Drittel seines Budgets an andere Länder verkauft und daher selbst ein geringeres Budget nutzt (grün). Der rote Emissionspfad folgt bis 2030 einem projizierten Business-as-usual-Pfad (IEA, 2007).  
Quelle: WBGU

des globalen Emissionsbudgets. Diese Länder haben im Rahmen von Option II z. T. noch erheblichen Spielraum für höhere Emissionen. Wegen der tendenziell notwendigen globalen Konvergenz in Richtung 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr bis 2050 ist dies aber kein dauerhafter Freibrief. Ein typischer Pfad für diese Ländergruppe wäre daher eine Art „Buckelt-rajektorie“ mit bis 2030 wachsenden und danach wieder fallenden Emissionen.

Am „oberen“ Ende der Gruppe 3 befinden sich Länder wie Brasilien, Ägypten und Peru, deren Budget bei konstantem Emissionsniveau noch 46, 57 bzw. 59 Jahre reichen würde. Diese Länder müssten schon bald damit beginnen, die Treibhausgasemissionen von ihrem angesteuerten Wirtschaftswachstum abzukoppeln, um problemlos mit ihrer zugewiesenen CO<sub>2</sub>-Menge auszukommen. Am „unteren“ Ende dieser Gruppe befinden sich 45 Länder (vor allem aus Afrika südlich der Sahara, aber auch Afghanistan und Nepal), die derzeit pro Kopf und Jahr weniger als 0,5 t CO<sub>2</sub> emittieren, so dass ihre Budgets bei konstantem Ausstoß mehr als 250 Jahre reichen würden.

Größter Emittent und besonderer Fall in dieser Gruppe ist Indien, das im Folgenden etwas genauer betrachtet wird. Im Rahmen seiner Budgetzuweisung gemäß Option II könnte das Land (heutige CO<sub>2</sub>-Emissionen bei 1,2 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr; Schätzwerte für 2008) theoretisch einem Business-as-usual-Pfad folgen und seine Emissionen innerhalb des Budgetzeitraums verdreifachen (Abb. 5.3-3). In diesem Fall wären allerdings die Emissionen im Jahr 2050 kaum noch an das dann anbrechende post-fossile Zeitalter anschlussfähig. Um diesen Anschluss zu gewährleisten, sollte Indien spätestens 2030 eine Trendumkehr beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß erreicht haben. In

Abbildung 5.3-3 skizziert die grüne Kurve beispielhaft eine Emissionsentwicklung, bei der Indien ein Drittel seines Budgets im Rahmen des internationalen Emissionshandels veräußert und mit Hilfe der so generierten Mittel u.a. einen Dekarbonisierungsfahrplan umsetzt, der die Emissionen bis 2050 wieder auf das heutige Niveau zurückführt.

Wie gerade das Beispiel Indien zeigt, müssen die Emissionszertifikate zum Ausgleich der Budgetüberschreitungen der Industriestaaten überwiegend von der dritten Ländergruppe kommen. Doch dieser Ausgleich sollte größtenteils über konkrete Klimaschutzvorhaben erfolgen, damit nicht die Staaten mit niedrigen Emissionsniveaus in einem unregulierten Emissionshandel lediglich „heiße Luft“ verkaufen, was zu enormen Finanztransfers ohne Klimaschutzwirkung führen würde (Kap. 5.4). Ein sinnvoll ausgestalteter Emissionshandel würde starke Anreize für Klimapartnerschaften zwischen Ländern mit hohen und niedrigen Emissionen schaffen. In diesen Partnerschaften würden typischerweise Industrieländer – im eigenen Interesse – ärmere Staaten dabei unterstützen, ihr Emissionsmaximum so früh wie möglich zu erreichen und so niedrig wie möglich zu halten. Die Industriestaaten würden also die zugekauften Emissionsrechte nutzen, um ihre eigenen, bereits ausgeschöpften Budgets auszugleichen, während die Entwicklungsländer die Transaktionen nutzen könnten, um Brücken in eine nachhaltige, klimaverträgliche Wirtschaftsweise zu bauen. Auf diese Weise macht der Budgetansatz Klimaschutz für alle Staaten ab sofort attraktiv, selbst wenn ihre Pro-Kopf-Emissionen heute noch sehr niedrig liegen sollten.

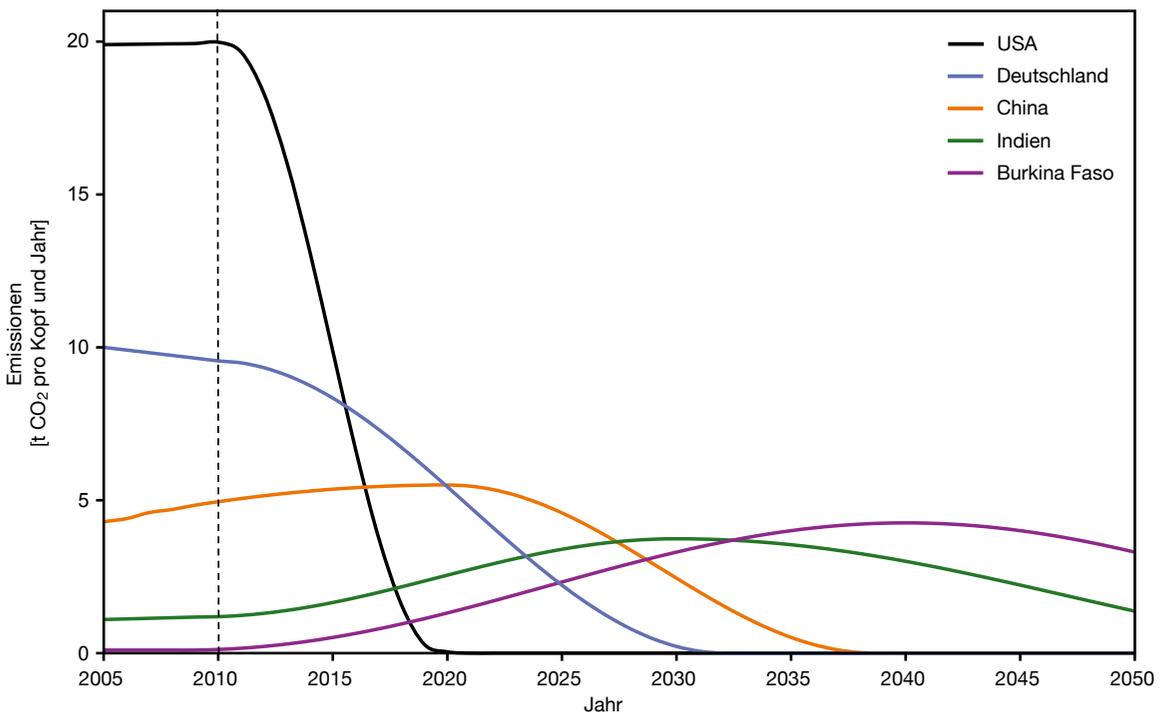
## KOOPERATION ZWISCHEN DEN LÄNDERGRUPPEN

Abbildung 5.3-4 zeigt für ausgewählte Länder theoretische zeitliche Verläufe der Pro-Kopf-Emissionen im Rahmen von Option II ohne Emissionshandel. Diese Kurven zeichnen für die USA ein dramatisches, für Deutschland ein trotz der bisherigen Klimaschutzfolge bedenkliches Bild. Bemerkenswert ist, dass selbst China in diesem Szenario eine vollständige Dekarbonisierung bis spätestens 2040 erzielen müsste. Dies zeigt, wie sehr das Klimaproblem die Staaten der Erde bereits zu einer Schicksalsgemeinschaft verkettert hat. An dieser Stelle ist zu betonen, dass die tatsächlichen Pro-Kopf-Emissionsprofile der Länder durch die Anwendung flexibler Instrumente sowie das Eingehen von bi- und multilateralen Partnerschaften erheblich von dem hier gezeigten Verlauf abweichen werden. Während die Hochemissionsländer die Gelegenheit haben, ihre Emissionsbudgets durch Zukäufe auszuweiten, profitieren Länder, deren Emissionen unterhalb der hier gezeigten Kurven verlaufen, vom Emissionsrechteverkauf.

Abbildung 5.3-5 zeigt theoretische Pro-Kopf-Emissionsverläufe für die drei Ländergruppen ins-

gesamt. Dabei sind erstens beispielhafte Verläufe dargestellt, welche sich ohne Emissionshandel ergeben würden, und zweitens diejenigen, die resultieren, wenn die Länder der Gruppen 1 und 2 ihre Budgets durch Zukäufe von Emissionsrechten aus Ländern der Gruppe 3 aufstocken würden.

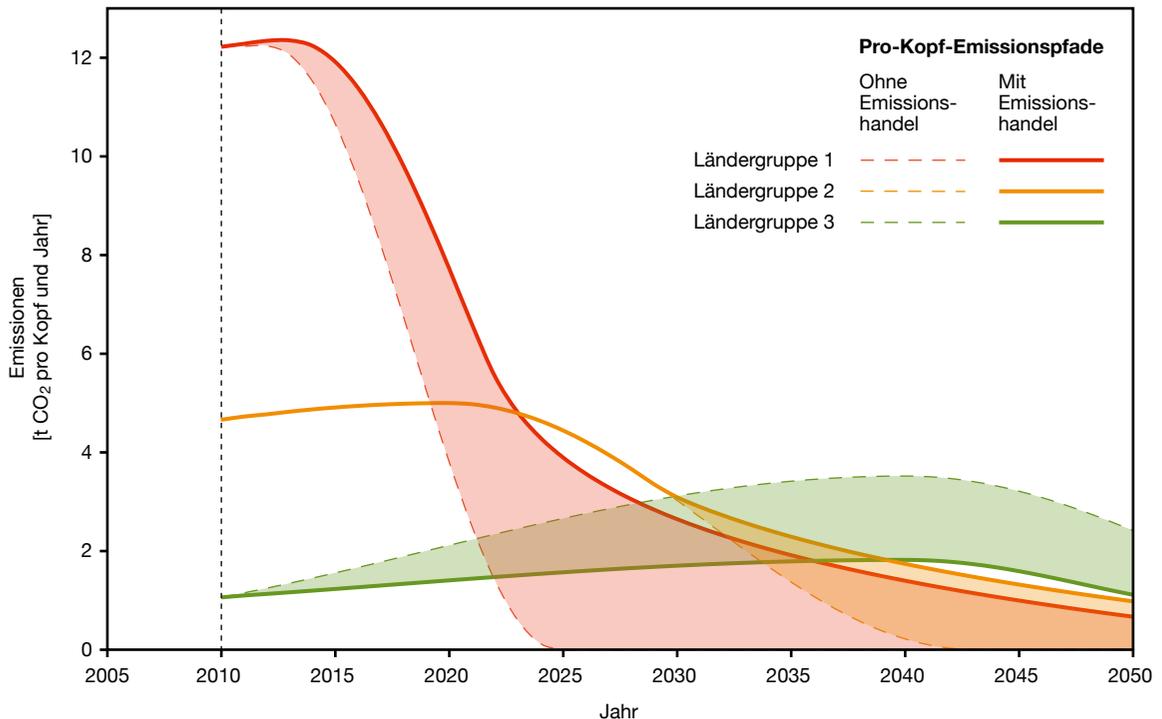
Sollte es gelingen, die Weichen in Richtung einer globalen klimaverträglichen Wirtschaftsweise im Rahmen des Budgetansatzes zu stellen, dann haben die nationalen Akteure folgendes Drehbuch zu beachten: Mehr als 100 Länder müssen möglichst sofort einen Transformationsprozess einleiten, der ihnen erlaubt, ihre Emissionen rasch zu stabilisieren und dann bis hin zur nahezu vollständigen Dekarbonisierung zu reduzieren. Nur 65 Länder sind derzeit mit ihren Emissionen im klimaverträglichen Bereich von weniger als 1–1,5 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr. Die CO<sub>2</sub>-Budgets der Industrieländer sind außerordentlich eng begrenzt. Diese Länder sollen daher Strategien zum tiefgreifenden Umbau ihrer „fossilen“ Ökonomien kombinieren mit der Nutzung flexibler Mechanismen (wie dem Technologietransfer zur Minderung von Treibhausgasemissionen in Entwick-



**Abbildung 5.3-4**

Beispiele für theoretische Pro-Kopf-Emissionsverläufe ausgewählter Länder nach dem Budgetansatz ohne Emissionshandel. Berücksichtigt sind ausschließlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen. Dabei wurde eine konstante Bevölkerung wie im Jahr 2010 zu Grunde gelegt. Ausgehend von den derzeitigen Emissionen (Schätzungen für 2008) wurden zeitliche Verläufe der Pro-Kopf-Emissionen berechnet, die eine Einhaltung der nationalen Budgets erlauben würden, aber für einige Länder (z.B. für die USA) in der Praxis unrealistisch wären. Dabei stehen jedem Land pro Kopf der Bevölkerung in 2010 für den Zeitraum 2010–2050 insgesamt 110 t an CO<sub>2</sub>-Emissionen zu. Die tatsächlichen Pro-Kopf-Emissionen werden aber u.a. durch den An- und Verkauf von Emissionsrechten z. T. erheblich von diesem Verlauf abweichen.

Quelle: WBGU



**Abbildung 5.3-5**

Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz. Die *gestrichelten Kurven* zeigen theoretische Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO<sub>2</sub> ohne Emissionshandel. Sie erlauben zwar eine Einhaltung der nationalen Budgets, würden aber z. T. in der Praxis nicht umsetzbar sein. Die *durchgezogenen Kurven* zeigen Emissionsverläufe, die sich durch einen Emissionshandel ergeben könnten. Dabei wurde angenommen, dass die Länder der Gruppe 1 ihr Budget um 75% erhöhen, indem sie Emissionsrechte für 122 Mrd. t CO<sub>2</sub> hinzukaufen. Die Länder in Gruppe 2 kaufen Emissionsrechte im Umfang von insgesamt 41 Mrd. t CO<sub>2</sub> hinzu. Als Verkäufer der insgesamt 163 Mrd. t CO<sub>2</sub> treten die Länder der Gruppe 3 auf, deren Budget damit um etwa 43% sinkt. Gegen Ende des Budgetzeitraums ergibt sich eine Annäherung der realen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei etwa 1 t pro Kopf und Jahr (bezogen auf die Bevölkerung im Jahr 2010). Die Flächen zwischen den Kurven veranschaulichen die gehandelte Menge an Emissionszertifikaten. Da es sich um eine Darstellung pro Kopf handelt und die Ländergruppen unterschiedliche Bevölkerungsstärken haben, stimmen die Flächen zwischen den kaufenden Ländergruppen 1 und 2 in der Summe nicht mit der Fläche der verkaufenden Ländergruppe 3 überein. Die Ländergruppen ordnen sich nach den jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf aus fossilen Quellen, wobei die CO<sub>2</sub>-Emissionen Schätzungen für das Jahr 2008 und die Bevölkerungszahlen Schätzungen für das Jahr 2010 sind. *Rot*: Ländergruppe 1 (>5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), vor allem Industrieländer (z.B. EU, USA, Japan), aber auch ölexportierende Länder (z. B. Saudi-Arabien, Kuwait, Venezuela) und wenige Schwellenländer (z.B. Südafrika, Malaysia). *Orange*: Ländergruppe 2 (2,7–5,4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), hier finden sich viele Schwellenländer (z.B. China, Mexiko, Thailand). *Grün*: Ländergruppe 3 (<2,7 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr), vor allem Entwicklungsländer (z.B. Burkina Faso, Nicaragua, Vietnam), aber auch einige große Schwellenländer (z. B. Indien, Brasilien).

Quelle: WBGU

lungsländern) und dem Zukauf von Emissionsrechten. Viele Schwellenländer müssen ebenfalls große Anstrengungen in Richtung Dekarbonisierung unternehmen, um mit ihren Budgets bis Mitte des Jahrhunderts auszukommen, ohne Emissionsrechte zukaufen zu müssen. Die meisten aufstrebenden Ökonomien werden daher kaum zu Anbietern von handelbaren Zertifikaten werden. Entwicklungsländer mit nachhaltig niedrigen Emissionsniveaus sind die strategisch bedeutsamen Eigner – und Verkäufer – solcher Verschmutzungsrechte. Für sie bietet der Budgetansatz die Chance, ihre zukünftige Entwicklung durch Technologie- und Finanztransfers zu beschleunigen

und von Anfang an auf eine klimaverträgliche Grundlage zu stellen.

*Erstens* wird vor dem Hintergrund dieser Konstellation deutlich, dass eine historische Klimapartnerschaft zwischen den Ländern der Gruppe 1 (also im wesentlichen den Industrieländern) und denen der Gruppe 3 (also im wesentlichen den heute armen Ländern) essenziell ist, um das Klimaproblem zu lösen. Die Formel lautet: Technologie- und Finanztransfers gegen „Budgetüberschüsse“. Aus den „Gebern“ und „Nehmern“ der klassischen Entwicklungszusammenarbeit werden so Partner mit wechselseitigen Interessen. Internationaler Klimaschutz muss also einhergehen mit einer globalen Entwick-

lungspartnerschaft zwischen „Hochemissions-“ und „Niedrigemissionsländern“. Vielen Entwicklungsländern wird der Weg in eine emissionsfreie Zukunft über Transferleistungen geebnet, denn der Aufbau ihrer nachhaltigen Energiesysteme wäre weitgehend über den Emissionshandel finanzierbar. Ihr doppelter Vorteil ist, dass sie die Bürde einer fossilen Pfadabhängigkeit günstig vermeiden können, ohne dass ihnen Entwicklungschancen verloren gehen.

Ein genauerer Blick auf die potenziellen Anbieter von Emissionsrechten ergibt folgendes Bild: Afrika südlich der Sahara ist die Region mit den meisten Staaten, die Überschüsse verkaufen können. Viele der Anbieter aus der Gruppe 3 sind allerdings kleine Ökonomien, die aus der Sicht der Nachfrager nur sehr überschaubare Treibhausgasvolumina zum Kauf anbieten können. Die für die Länder der Gruppe 1 interessanteren potenziellen Anbieter mit großen Volumina an Emissionsrechten sind dagegen Indien (1,2 Mrd. Menschen; bei konstanten Emissionen reichte das Budget noch 88 Jahre; Datenquellen siehe Tab. 5.3-2), Bangladesch (164 Mio. Menschen; 384 Jahre), Pakistan (184 Mio. Menschen; 125 Jahre) und Äthiopien (84 Mio. Menschen; 1.251 Jahre). Diese Staaten, die heute kaum eine geostrategische Rolle spielen, können über die Klimaproblematik zu künftig gewichtigen Akteuren werden, mit denen die Industrieländer besonders konstruktive Beziehungen unterhalten sollten.

*Zweitens* wird sichtbar, dass der Emissionshandel zwischen den Ländern der Gruppe 1 und 2 aufgrund der minimalen bzw. mäßigen Budgets recht beschränkt sein dürfte. Dennoch werden die Industrieländer großes Interesse an gleichberechtigten Technologiepartnerschaften zur Senkung der Treibhausgasintensität in den Volkswirtschaften der Schwellenländer (insbesondere China) haben, um zu verhindern, dass diese selbst zu bedeutsamen Nachfragern nach Emissionsrechten werden. Ein Wettbewerb zwischen den Ländern der Gruppe 1 und 2 um die begrenzten Emissionsrechte der Gruppe 3 hätte sicherlich entsprechende preistreibende Effekte zur Folge. Diese Einsicht könnte z.B. Klimaallianzen zwischen China, der EU und den USA befördern. Trotz solch gemeinsamer Interessen wird jedoch in Zukunft vermutlich zwischen den Industrieländern und insbesondere China ein scharfer Wettbewerb um die globale Technologieführerschaft in der Phase der weltweiten Dekarbonisierung stattfinden.

*Drittens* zeigt die Analyse des WBGU, dass die beiden wichtigsten Aufsteigerökonomien aus Asien, China und Indien, im Rahmen des Budgetansatzes mit sehr unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert sein werden. China wird aufgrund seiner eindrucksvollen ökonomischen Wachstumsdynamik und seinem bereits relativ hohen Pro-Kopf-

Emissionsniveau unter großem Zeitdruck eine umfassende Dekarbonisierungsstrategie durchsetzen müssen (McKinsey, 2009c). Indien verfügt aufgrund noch relativ niedriger Pro-Kopf-Emissionen über die Chance, trotz hoher ökonomischer Wachstumspotenziale einen langsameren Transformationspfad in Richtung einer klimaverträglichen Ökonomie zu entwickeln, also unter erheblich geringerem Zeitdruck als China die Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung und Treibhausgasemissionen einzuleiten. Je eher Indien diese Option zur Vermeidung einer bedingungslos nachholenden Karbonisierung erkennt, desto größer werden seine Chancen sein, zum künftig wichtigen Anbieter von Emissionsrechten zu werden (Abb. 5.3-3). Das Land könnte sich also den Weg in die klimaverträgliche Zukunft durch Partnerschaft mit den Industrieländern erheblich erleichtern, umgekehrt wäre die klimapolitische Kooperation mit Indien auch für den Norden von großem strategischem Interesse, um sich einen Zugang zur indischen „Emissionsrechteressource“ zu sichern. Fazit: Indien könnte zum Schlüsselakteur und großen Gewinner eines Weltklimavertrages im Geiste des Budgetansatzes werden. Dies illustriert, dass die Entkopplung wirtschaftlicher Entwicklungschancen von der fossilen Energieerzeugung nicht nur für Industrieländer, sondern auch für Schwellen- und Entwicklungsländer eine Schicksalsfrage ist.

#### KOMPENSATION DER HISTORISCHEN VERANTWORTUNG

Da bei der hier skizzierten Option II „Zukunftsverantwortung“ die zwischen 1990 und 2010 bereits erfolgten Emissionen nicht für die Verteilung der künftigen Emissionsberechtigungen berücksichtigt werden, kommt die historische Verantwortung der Hochemissionsländer in den nationalen Budgets nicht zum Tragen. Dies könnte aus Sicht des WBGU auf andere Weise geschehen, wenn sich dafür politische Übereinkünfte erzielen ließen. Insbesondere würden sich kompensatorische Finanzleistungen (vor allem für Anpassungsmaßnahmen) anbieten, deren Höhe sich an den Unterschieden der Pro-Kopf-Emissionen in der Periode 1990–2009 orientiert (Kap. 5.5).

#### ZWISCHENZIELE FÜR CO<sub>2</sub>-REDUKTIONEN BIS 2020

Neben den Gesamtbudgets bis 2050 sind auch überprüfbare Etappenziele für die Klimapolitik essenziell, die somit in Kopenhagen ebenfalls vereinbart werden sollten. Ansonsten besteht für die Politik die Versuchung, Klimaschutzmaßnahmen „auf die lange Bank zu schieben“ und möglicherweise unpopuläre Maßnahmen nicht anzupacken, sondern für künftige Legislaturperioden zu versprechen. Zudem können die einzelnen Länder beim Klimaschutz nicht unab-

hängig von einander agieren, da ihre Dekarbonisierungspfade vielfach miteinander verkoppelt sind. Diese Verschränkung ergibt sich durch den Emissionshandel, durch die Technologieentwicklung und durch die Notwendigkeit, in der globalen Summe eine Trendwende bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen 2015–2020 herbeizuführen, um eine glaubwürdige Chance zur Einhaltung der 2°C-Leitplanke zu bewahren. Daher sind Vereinbarungen über Zwischenziele (also z.B. für 2020) notwendig.

Für die USA ist es aufgrund der für den Klimaschutz verlorenen Zeit während der letzten beiden Regierungsperioden unrealistisch, für 2020 ein Minderungsziel anzuvizieren, das der Problemhöhe annähernd angemessen wäre. Aus diesem Grund und angesichts des enormen Innovationspotenzials der USA wäre die Setzung eines „Sondermeilensteins“ für das Land in Kopenhagen bedenkenswert: Als Zielmarke für das Jahr 2030 könnte etwa die Reduzierung der nationalen Emissionen auf 4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr vereinbart werden.

#### ZWISCHENZIELE FÜR OPTION II „ZUKUNFTSVERANTWORTUNG“

Auf Grundlage und nach Sichtung der gemäß Option II resultierenden nationalen CO<sub>2</sub>-Budgets schlägt der WBGU eine systematische Setzung von Meilensteinen in Form von Zwischenzielen für das Jahr 2020 vor. Aufgeschlüsselt nach Ländergruppen ergeben sich daraus entweder Minderungsziele oder Obergrenzen für die Budgetnutzung bis 2020.

Aus dem hier vorgeschlagenen Ansatz lassen sich nicht nur die Budgets bis 2050, sondern ebenfalls solche Zwischenziele transparent und gerecht ableiten. Der Budgetansatz ist daher – wenn er richtig genutzt wird – auch außerordentlich hilfreich für den spezifischen Verhandlungsprozess vor und in Kopenhagen. Zur Herleitung der Zwischenziele werden die drei schon diskutierten Ländergruppen betrachtet.

*Ländergruppe 1:* Diese Länder müssten – unter der Annahme einer linearen Emissionsminderung ab 2010 – schon vor 2050 das Nullniveau erreicht haben. Für diese Gruppe ergäbe sich das jeweilige 2020-Etappenziel als Punkt auf einer geraden Linie, welche das heutige Emissionsniveau mit dem Nullniveau im Jahre X bei Einhaltung des zugewiesenen Budgets verbindet. Deutschland müsste beispielsweise seine CO<sub>2</sub>-Emissionen in 20 Jahren auf Null reduziert haben. Das Etappenziel wäre daher minus 50% bis 2020, relativ zum heutigen Niveau.

Für die Industrieländer insgesamt sind die Zahlen sehr ähnlich, und das Ziel ist in diesem Fall auch gleichbedeutend mit einer Reduktion der Emissionen um 50% gegenüber 1990, da die Emissionen dieser Gruppe heute etwa auf dem Niveau von 1990 liegen. Deshalb könnte für die Industrieländer insge-

samt beispielsweise der 2020-Meilenstein gesetzt werden, 35–40% der Emissionen im eigenen Land zu mindern und den Rest durch Maßnahmen in oder durch Kooperation mit Entwicklungsländern zu erbringen. Die EU insgesamt müsste ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen innerhalb von 25 Jahren auf Null reduzieren – dies entspräche direkt einem Ziel von minus 40% bis 2020. Die USA müssten theoretisch bereits innerhalb von 11 Jahren Nullemissionen erreichen – für sie lässt sich mit dieser Methode kein realistisches Minderungsziel für 2020 ableiten. Die Vereinigten Staaten sollten sich daher ein möglichst ambitioniertes Ziel für Minderungen im Inland bis 2020 setzen, und den großen Rest ihrer Klimaschutzverpflichtungen zunehmend und spätestens im Jahr 2020 vollständig durch Zukäufe im Emissionshandel bzw. Minderungsprojekte im Ausland erbringen.

*Ländergruppe 2:* Für diese Staaten sollte die Regel gelten, dass sie bis 2020 maximal 44% ihres Gesamtbudgets emittieren dürfen. Diese Zahl ergibt sich automatisch für einen hypothetischen Staat, der linear bis 2050 um 100% mindert: In den vier Jahrzehnten bis 2050 verbraucht er dann jeweils 44%, 31%, 19% und 6% seines Budgets. Damit schließt die genannte Meilensteinsetzung nahtlos an die Ableitung der Zwischenziele der Staatengruppe 1 an – erlaubt aber umso größere Flexibilität, je niedriger die Pro-Kopf-Emissionen in individuellen Land der Gruppe 2 sind. Umgekehrt erlaubt diese Regel einem Staat, der im Rahmen seines Budgets nur 10% reduzieren muss, dass seine Emissionen anfangs noch stark wachsen dürfen. Für Tunesien mit 2,9 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr etwa wäre ein Emissionswachstum um 135% von 2010–2020 erlaubt, also zunächst noch das Verfolgen eines Business-as-usual-Pfads. Wegen des begrenzten Budgets bis 2050 gäbe es dennoch einen starken unmittelbaren Anreiz für den Klimaschutz. Für China, mit derzeit 4,6 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr im Mittelfeld dieser Gruppe, wären noch 10% Emissionsanstieg über den Zeitraum 2010–2020 erlaubt, was schon eine erhebliche Minderung gegenüber einem Business-as-usual-Szenario und damit große Klimaschutzanstrengungen bedeuten würde.

*Ländergruppe 3:* Diese Gruppe würde ohne kürzerfristige Meilensteine auskommen, müsste sich jedoch zur Vorlage überprüfbarer Dekarbonisierungsfahrpläne verpflichten. Diese würden dann auch die natürliche Grundlage dafür bilden, im Rahmen des Emissionshandels von gemeinsamen Klimaschutzprojekten mit Industrieländern zu profitieren.

## 5.4

### Institutionelle Umsetzung: Weltklimabank und Weiterentwicklung flexibler Instrumente

Im Rahmen des vom WBGU vorgeschlagenen Budgetansatzes ist darauf zu achten, dass einzelne Länder oder Ländergruppen die erforderlichen Emissionsreduktionen nicht so weit in die Zukunft schieben, dass das globale Budget 2050 schließlich doch überzogen und die 2°C-Leitplanke durchbrochen würde. Insbesondere ist zu vermeiden, dass einzelne Staaten ihre CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte in frühen Phasen der Budgetperiode verschwenderisch beanspruchen und deshalb später, auch aufgrund von technologischen Pfadabhängigkeiten, „kohlenstoffinsolvent“ werden. Mit nationalen Dekarbonisierungsfahrplänen könnte derartigen Fehlentwicklungen wirksam vorgebeugt werden.

Diese Fahrpläne sollten sich nicht nur an den zugewiesenen CO<sub>2</sub>-Budgets, sondern auch an den nationalen Emissionsminderungspotenzialen orientieren, denn für die Einhaltung der 2°C-Leitplanke wird es notwendig sein, alle global vorhandenen Reduktionsmöglichkeiten weitestgehend zu nutzen (McKinsey, 2009b). Die Dekarbonisierungsfahrpläne müssten jedoch von einer internationalen, unabhängigen und zentralen Institution regelmäßig auf Plausibilität und Umsetzbarkeit geprüft werden. Der WBGU schlägt hierfür die Einrichtung einer *Weltklimabank* vor.

Die Weltklimabank hätte weitere wichtige Aufgaben, wie die Überwachung der tatsächlichen Emissionen der Länder bzw. Ländergruppen mittels Monitoring und geeigneter Sanktionsbefugnisse. Um Budgetüberziehungen systematisch vorzubeugen, wäre das Setzen von nationalen Meilensteinen für einen überschaubaren Zeitraum (etwa fünf oder zehn Jahre) hilfreich. Derartige Zwischenziele sollten generell in den Dekarbonisierungsfahrplänen der Länder ausgewiesen sein. Im Falle der Verfehlung der Meilensteine würde die Weltklimabank gemeinsam mit der jeweiligen nationalen Institution den Fahrplan intensiv überarbeiten und neue Ziele bzw. Korridore für die Emissionsminderung festlegen.

Bei Anwendung des Budgetansatzes müssten insbesondere die Industrieländer entscheiden, inwieweit sie die erforderlichen Treibhausgasreduzierungen im eigenen Land durchführen oder flexible Mechanismen (Emissionshandel, Joint Implementation) in Anspruch nehmen wollen, die eine kosteneffiziente Erfüllung nationaler Reduktionsverpflichtungen ermöglichen.

Für den zwischenstaatlichen Emissionshandel sollten die Länderbudgets in handelbare Zertifikate umgewandelt und transferierbar gemacht werden. Als Anbieter von Emissionsrechten kämen überwie-

gend Länder der Gruppe 3 in Frage, da selbst Staaten aus Gruppe 2 über den gesamten Budgetzeitraum höchstens geringfügige Emissionsspielräume erwirtschaften dürften. Für die Anbieter von Emissionsrechten ergeben sich durch den Emissionshandel neue Einkommenschancen.

Für eine erfolgreiche Klimapolitik ist unerlässlich, dass diejenigen Länder der Gruppe 3, die ihr Emissionsbudget selbst bei schneller wirtschaftlicher Entwicklung nicht ausschöpfen, ihre Einnahmen aus dem Verkauf von Zertifikaten gezielt in emissionsarme Technologien investieren, statt auf fossilen Entwicklungspfaden zu verharren. Deshalb sollte ergänzend zu den nationalen Meilensteinen für die Dekarbonisierung auch eine zumindest partielle Zweckbindung der Einnahmen aus dem zwischenstaatlichen Emissionshandel eingeführt werden. Dementsprechend müsste ein großer Teil dieser Mittel für die Förderung emissionsarmer Technologien, insbesondere für die Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen, verwendet werden.

Ein anderer flexibler Mechanismus ist das im Kioto-Protokoll eingeführte Instrument Joint Implementation (JI), mit dem sich reduktionspflichtige Staaten durch emissionsmindernde Maßnahmen in anderen Ländern, die ebenfalls Verpflichtungen zur Emissionsbegrenzung haben, heimische Emissionsspielräume schaffen können. JI bietet im Rahmen des WBGU-Budgetansatzes Anreize für Industrie- und andere Hochemissionsländer, in klimaverträgliche Technologien in den Schwellen- und Entwicklungsländern, d.h. Ländern der Gruppen 2 und 3, zu investieren. JI ist für diejenigen Länder der Gruppe 2 und 3, die keine Emissionsrechte veräußern können, ein interessanter Mechanismus zur Finanzierung ihrer Transformationsprozesse. Die Basis für diesen Mechanismus wäre im Vergleich zum Kioto-Protokoll erheblich verbreitert, da allen Staaten nationale Treibhausgasbudgets zugewiesen werden, wobei der Clean Development Mechanism (CDM) im Instrument Joint Implementation aufgeht.

Der Budgetansatz setzt überdies vielfältige Anreize für Nord-Süd-Partnerschaften. Diese Partnerschaften beruhen auf bilateralen Verträgen zur gegenseitigen Unterstützung bei der Umsetzung der Dekarbonisierungsfahrpläne. Die Weltklimabank könnte in diesem Zusammenhang eine außerordentlich wichtige Rolle spielen, etwa bei der Identifizierung und Vermittlung solcher Partnerschaftsprojekte.

Beide flexiblen Mechanismen sollten über die Weltklimabank abgewickelt werden, die als globale Budgetverwalterin die Transfers registrieren und nach strikten Kriterien prüfen müsste. Die Weltklimabank würde somit die nationalen Emissionsbudgets koordinieren und gleichzeitig über die Ein-

haltung des Globalbudgets wachen, da die einzelnen Zuweisungen über die flexiblen Mechanismen miteinander verknüpft wären. Die Bank hätte nicht zuletzt darauf zu achten, dass der zeitliche Verlauf der nationalen und damit der globalen Emissionen die Einhaltung der 2°C-Leitplanke ermöglicht. Insbesondere müsste gewährleistet sein, dass die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits 2015–2020 zu sinken beginnen (Kap. 3, 5.3) und zum Jahr 2050 hin nur noch sehr gering sind. Um sicherzustellen, dass das Maximum der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen tatsächlich vor 2020 erreicht wird, wäre es sinnvoll, die Nutzung der flexiblen Mechanismen durch Handelsperioden zu strukturieren.

Zusätzlich könnte die Weltklimabank mit der Kreditvergabe für Vermeidungsmaßnahmen eine wichtige unterstützende Finanzierungsfunktion bei der Umsetzung der nationalen Dekarbonisierungsfahrpläne wahrnehmen. Möglicherweise sind – je nach Festlegung des Anfangsjahres der Budgetperiode – einige Staaten, insbesondere Länder der Gruppe 2, auf finanzielle Unterstützung angewiesen, da sie nur in begrenztem Umfang Einnahmen aus dem Emissionshandel erzielen können. Darüber hinaus könnte die Weltklimabank auch einen Fonds zur Finanzierung von Maßnahmen zur Anpassung und zum Schutz der Wälder verwalten (Kap. 5.5).

Der Weltklimabank wird die Erfüllung der genannten Aufgaben nur gelingen können, wenn sie mit entsprechend weit reichenden Befugnissen ausgestattet ist und auch über wirksame Sanktionsmechanismen verfügt, etwa im Falle absehbarer oder tatsächlicher Überschreitungen der zugewiesenen nationalen Emissionsbudgets. Die Sanktionsregeln sollten bereits am Beginn der Budgetperiode bekanntgemacht werden und so effektiv sein, dass sie starke Anreize zur Einhaltung der Budgets setzen.

Die Vorteile einer Weltklimabank im Zusammenhang mit dem Budgetansatz können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die *zeitliche und regionale Flexibilität* wird durch Monitoring, Regulierungen sowie Sanktionen der Weltklimabank ermöglicht, so dass das globale CO<sub>2</sub>-Budget nicht überschritten wird.
- Der Transfer nicht benötigter Emissionsrechte wird so koordiniert, dass sich erhebliche *Einkommens- und Entwicklungspotenziale* für die Verkaufsländer ergeben.
- Die *Glaubwürdigkeit* der einzelnen Länder bezüglich ihrer Transformationsbereitschaft wird durch die Existenz geprüfter, verpflichtender Dekarbonisierungsfahrpläne und nationaler Meilensteine sowie durch Monitoring und Sanktionen deutlich erhöht.

## 5.5

### Finanztransfers im Rahmen des Budgetansatzes

Zur Umsetzung der Dekarbonisierungsfahrpläne der Staaten sind Finanzmittel in hohem Umfang zu mobilisieren. In den Ländern der Gruppe 1 wird erhebliches Kapital für grundlegende Innovationen, Investitionen in emissionsarme Technologien und den Aufbau zukunftsfähiger Infrastrukturen benötigt. Die Entwicklungs- und Schwellenländer der Gruppen 2 bzw. 3 brauchen ebenfalls bedeutende Finanzmittel für das Beschreiten klimaverträglicher Entwicklungspfade durch Einsatz geeigneter Technologien, aber auch für die Vermeidung von Entwaldung (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation, REDD). Zudem sind weltweit umfangreiche Anpassungsmaßnahmen an die bereits unabwendbaren Klimaänderungen unterhalb der 2°C-Leitplanke und deren signifikanten Auswirkungen zu finanzieren.

In den folgenden Abschnitten werden Finanztransfers für Vermeidung, Anpassung und REDD, vor allem über den Zertifikatehandel und über verpflichtende Zahlungen aufgrund der historischen Verantwortung für Emissionen, diskutiert.

#### 5.5.1

##### Finanztransfers für die Vermeidung des Klimawandels: Emissionshandel

Neueste Schätzungen der jährlichen globalen Vermeidungskosten im Sinne von zusätzlich notwendigen Investitionen zur Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels liegen bei mehreren hundert Mrd. US-\$. So schätzt das Sekretariat der Klimarahmenkonvention, dass im Jahr 2030 bis zu 350 Mrd. US-\$ an zusätzlichen Investitionsmitteln notwendig sein werden, wovon etwa die Hälfte in Entwicklungsländern benötigt wird (UNFCCC, 2008). Andere Schätzungen gehen ebenfalls von – jährlich ansteigenden – Beträgen in dieser Größenordnung zwischen 2010 und 2030 aus (IEA, 2008; McKinsey, 2009b).

#### EMISSIONSHANDEL

Es ist anzunehmen, dass es den Ländern der Gruppe 1 selbst bei Identifizierung und Ausschöpfung aller kurzfristigen Emissionsminderungspotenziale kaum gelingen wird, im Rahmen ihrer zugewiesenen Budgets zu bleiben. Die Nachfrage der Industrieländer nach zusätzlichen Emissionsrechten dürfte daher sehr hoch sein und sich in einem umfangreichen Finanz- und Technologietransfer via Emissionshandel (auch im Zuge zwischenstaatlicher Abkommen zum Austausch von Emissionszertifikaten) oder Joint Implementation niederschlagen. Die in

Abbildung 5.3-5 beispielhaft skizzierten Transaktionen, bei denen die Industrieländer zwischen 2010 und 2050 Emissionsrechte in Höhe von 120 Mrd. t CO<sub>2</sub> einkaufen würden, stellen ein durchaus plausibles Gedankenexperiment dar. Unter der konservativen Annahme von Zertifikatspreisen zwischen 10 und 30 € pro t CO<sub>2</sub> entspräche dies einem Finanztransfer von 1.200–3.600 Mrd. € im gesamten Zeitraum, also durchschnittlichen Geldflüssen von 30–90 Mrd. € pro Jahr. Somit könnte über den Emissionshandel ein erheblicher Beitrag zu den erforderlichen Zukunftsinvestitionen in den Entwicklungs- und Schwellenländern geleistet werden. Die Weltklimabank sollte solche marktbasieren Prozesse so koordinieren und begleiten, dass insbesondere auch weniger entwickelte Länder teilhaben können.

#### PRIVATWIRTSCHAFTLICHE MITTEL

Mittels Emissionshandel ist nur ein Teil der erforderlichen Vermeidungsfinanzierung zu generieren. Daher sollten diejenigen Staaten, die über den Emissionshandel erhebliche Mittel erhalten, diese nutzen, um auch privatwirtschaftliche Mittel zu mobilisieren (Leverage). Ein Verhältnis von 3:1 bis 4:1 für den Einsatz von privaten gegenüber staatlichen Mitteln erscheint angemessen und realistisch (Capoor und Ambrosi, 2008). Private Investoren, insbesondere in den Schwellen- und Entwicklungsländern, könnten durch zinsgünstige Kredite und Bürgschaften, weitgehend finanziert aus Einnahmen des Emissionshandels, für den Transformationsprozess gewonnen werden. Eine weitere Finanzierungsmöglichkeit stellt das System der „Matching Funds“ dar, bei denen der private Mitteleinsatz für Vermeidungsmaßnahmen um einen bestimmten Prozentsatz durch staatliche Mittel erhöht wird.

#### KREDITE UND ZUSCHÜSSE

Sollten die Einnahmen aus dem Emissionshandel und anderen flexiblen Mechanismen für die Umsetzung der Dekarbonisierungsfahrpläne bestimmter Länder (vermutlich insbesondere der Gruppe 2, die nicht oder kaum vom Emissionshandel profitieren werden) nicht ausreichen, sollte der Weltklimabank ein Fonds für Kredite und Zuschüsse zur Verfügung stehen. Dieser Fall würde umso relevanter, je weniger die historische Verantwortung der Hochemissionsländer berücksichtigt wird, je weiter also das Anfangsjahr der Budgetperiode aus der Vergangenheit in die Zukunft verlegt würde (Kap. 5.2). Die Mittel für diesen Fonds können auf verschiedene Weise aufgebracht werden.

Im Rahmen des Budgetansatzes bestünde die Möglichkeit, gemäß dem Verursacherprinzip Mittel aus Kompensationszahlungen für historische Emissionen bereit zu stellen. Das Anfangsjahr der Bud-

getperiode (T<sub>1</sub>) bestimmt, inwieweit der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Vergangenheit bei den nationalen Budgets zu Buche schlägt. Dieses Anfangsjahr muss in einem politischen Kompromiss festgelegt werden. In Kapitel 5.3 diskutiert der WBGU zwei Optionen des Budgetansatzes, wobei Option II die vor 2010 getätigten Emissionen nicht berücksichtigt. Einen Schlüssel, mit dessen Hilfe sich entsprechende Kompensationszahlungen bestimmen ließen, könnte man sich wie folgt vorstellen: Die nicht in der Budgetrechnung berücksichtigten historischen Emissionen – beispielsweise der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zwischen 1990 und 2009 in Option II (Kap. 5.3.2) – werden zunächst aufsummiert (Tab. 5-3.1). Anschließend wird diese Summe mit dem fiktiven Emissionsgesamtbetrag verglichen, den das Land im selben Zeitraum bei Annahme eines weltweit gleichen Pro-Kopf-Ausstoßes verursacht hätte. Dieser ergibt sich durch Multiplikation der tatsächlichen globalen Emissionen im Zeitraum 1990–2009 mit dem Anteil des Landes an der Weltbevölkerung (Tab. 5-3.1). Die Differenz zwischen dem fiktiven und dem tatsächlichen Ausstoß würde mit einem monetären Wert pro Tonne CO<sub>2</sub> bewertet. Dieser Preis muss politisch festgelegt werden und sollte sich nach den Grenzschadenskosten oder den Zertifikatspreisen für CO<sub>2</sub>-Emissionen richten. Die Einforderung solcher jährlicher Ausgleichszahlungen der Verursacherländer wäre eine weitere wichtige Aufgabe für die Weltklimabank. Sie müsste im Zusammenhang mit der internationalen Generierung von Finanzmitteln die Möglichkeit haben, diejenigen Länder wirksam zu sanktionieren, welche ihren Einzahlungsverpflichtungen nicht nachkommen. Denkbare Sanktionsmechanismen wären etwa solidarische Haftungsregeln für jeweils eine gewisse Gruppe von Ländern, der temporäre Ausschluss von der Teilnahme an den flexiblen Mechanismen oder auch explizite Strafzahlungen, wie sie beispielsweise in der EU zu finden sind.

Eine andere Möglichkeit, Mittel für diesen Fonds aufzubringen, besteht in der internationalen Veräußerung (d.h. Verkauf oder Versteigerung) eines Anteils des globalen Emissionsbudgets durch die Weltklimabank. Eine Variante wäre, diesen Anteil, um den sich die global zu verteilende Emissionsmenge entsprechend verringerte, von vornherein einzubehalten. In einer anderen Variante könnte eine Teilmenge aus dem Budget der mit Emissionsrechten besonders gut ausgestatteten Länder der Gruppe 3 (etwa das Emissionsvolumen, das selbst bei hohem „fossilen“ Wirtschaftswachstum nicht ausgeschöpft werden könnte) entnommen und über die Weltklimabank neu verteilt werden. Die Weltklimabank müsste jedoch in allen Fällen angemessene Tranchen in regelmäßigen Abständen veräußern, um einen gleichmäßigen Einnahmestrom zu generieren. Käufer dieser Emis-

sionszertifikate würden Länder der Gruppe 1 und 2 sein. Bei beiden Vorgehensweisen ergäben sich allerdings gewisse Gerechtigkeitsprobleme, da die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der betroffenen Länder sehr unterschiedlich sein dürfte. Folglich wären ärmere Länder beim Zukauf benachteiligt. Gleichzeitig könnten sich Länder der Gruppe 3 benachteiligt fühlen, da sie nicht völlig frei über die ihnen zugeordneten Emissionsrechte verfügen würden.

Eine dritte Möglichkeit zur Generierung entsprechender Mittel läge in einer Abgabe auf die Nutzung der flexiblen Mechanismen. Eine solche Abgabe wird bereits in der ersten Verpflichtungsperiode des Kioto-Protokolls auf den Clean Development Mechanism (CDM) erhoben, indem 2% der erwirtschafteten Emissionsminderungszertifikate zurückgehalten werden und dem Kioto-Anpassungsfonds zugute kommen. Im Rahmen des Budgetansatzes könnte dieses Modell auf den Emissionshandel und auf JI übertragen und die Einnahmen für den oben genannten Fonds der Weltklimabank genutzt werden. Dies könnte sich allerdings hemmend auf die – entsprechend dem Budgetansatz stark zu erweiternden – flexiblen Mechanismen auswirken.

Darüber hinaus schlägt der WBGU eine Abgabe auf den internationalen Schiffs- und Flugverkehr vor. Diese Abgaben würden sich problemlos zur Speisung des Fonds der Weltklimabank einsetzen lassen. Die mit internationalem Schiffs- und Flugverkehr verbundenen Treibhausgasemissionen unterliegen bisher keiner Begrenzung und ihre Zuordnung zu einzelnen Staaten ist problematisch. Beispielsweise könnten beim Flugverkehr Entgelte in Form einer Ticketabgabe erhoben werden (WBGU, 2002).

### 5.5.2

#### Finanztransfers für Anpassung und Schutz der Wälder: Fonds mit Einzahlungsverpflichtung

##### ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

Für Anpassungsmaßnahmen wird in verschiedenen Schätzungen ein über die Jahre ansteigender Investitionsbedarf in Höhe von mehreren 10 Mrd. US-\$ jährlich angesetzt. Da insbesondere Entwicklungsländer von den Folgen des Klimawandels besonders schwer betroffen sein werden, besteht in diesen Ländern der größte Anpassungsbedarf. Das Sekretariat der Klimarahmenkonvention erwartet um 2030 jährliche Anpassungskosten von etwa 28–67 Mrd. US-\$ in Entwicklungsländern (UNFCCC, 2007, 2008). Nach dem Stern-Review müssen in den entsprechenden Regionen heute schon Anpassungskosten in Höhe von 4–37 Mrd. US-\$ pro Jahr veranschlagt werden (Stern, 2006).

Der WBGU schlägt vor, zur Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen einen völkerrechtlich verbindlichen Mechanismus zu schaffen. Neue und bereits existierende Mittel für Anpassungen sollten in dem bereits bestehenden Kioto-Anpassungsfonds gebündelt werden, um die Transparenz der Mittelflüsse und damit die Effizienz der Mittelverwendung zu gewährleisten. Die Finanzierung dieses Fonds könnte im Rahmen des Budgetansatzes auf eine wesentlich tragfähigere Grundlage gestellt werden: Die Mittelzuflüsse sollten nämlich *erstens* über verbindliche Zahlungen erfolgen, deren Gesamthöhe sich *zweitens* an den Anpassungserfordernissen orientieren müsste. Ohne den zweiten Punkt hier weiter zu vertiefen, merkt der WBGU dazu an, dass eine unabhängige, internationale wissenschaftliche Kommission mit Unterstützung der Weltklimabank den globalen und nationalen Finanzbedarf für Anpassungsmaßnahmen und Klimaschadensausgleich in regelmäßigen Abständen ermitteln könnte. Diese Kommission sollte bei ihren Schätzungen an die umfangreichen Vorarbeiten im Rahmen der UNFCCC (z.B. Nairobi Work Programme, National Adaptation Programme of Action) anknüpfen. Insbesondere sollte sich die Kommission bei der Ermittlung der Anpassungserfordernisse an denjenigen Klimawirkungen orientieren, die sich auch dann ergeben, wenn die 2°C-Leitplanke eingehalten wird. Abgeschätzt werden sollten sowohl die Investitionskosten für eine optimale Anpassungsstrategie plus die Kosten der auch durch beste Anpassungsmaßnahmen nicht zu vermeidenden Schäden durch den Klimawandel.

Die in diesem Zusammenhang resultierenden Einzahlungsverpflichtungen der einzelnen Länder ergäben sich dann aus der historischen Verantwortung der Staaten für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. In Option II (Kap. 5.3.2) ist das der Zeitraum zwischen 1990 und 2010, wobei auch hier der oben beschriebene Einzahlungsschlüssel angewendet werden könnte. Alle Länder, deren Emissionen im betrachteten Zeitraum über ihrem „fairen“ Betrag lägen, hätten einen entsprechenden finanziellen Beitrag zu leisten. Die Gesamthöhe der Einzahlungen entspräche in diesem Fall aber der festgelegten Bedarfshöhe, wobei jedes Land einen Beitrag proportional zur Differenz zwischen seinem tatsächlichen und dem fiktiven Emissionsvolumen zahlen müsste.

Diese Beiträge könnten innerhalb der Länder aus den Einnahmen einer nationalen CO<sub>2</sub>-Steuer oder aus der Versteigerung nationaler Emissionsrechte generiert werden. Die Weltklimabank müsste im Zusammenhang mit der internationalen Aufbringung der Finanzmittel die Möglichkeit haben, diejenigen Länder zu sanktionieren, die ihren Einzahlungsverpflichtungen nicht nachkämen.

Die oben genannten Abgaben auf den internationalen Schiffs- und Flugverkehr ließen sich auch für den Anpassungsfond einsetzen.

#### SCHUTZ DER WÄLDER

In ähnlicher Weise wie der oben skizzierte Anpassungsfonds sollte ein eigenständiger, völkerrechtlich verbindlicher Fonds zur finanziellen Entschädigung unterlassener Entwaldung in Entwicklungsländern (REDD) eingerichtet werden (Kap. 5.7). Die verpflichtenden Einzahlungen könnten wiederum nach dem oben skizzierten Schlüssel erfolgen. Dieser Fonds soll erstens die Minderung der Entwaldungsraten über vereinbarte Zielmarken hinaus honorieren sowie zweitens die Einrichtung von Schutzgebieten zur dauerhaften Bewahrung natürlicher Kohlenstoffspeicher unterstützen (Kasten 5.7-1).

Der WBGU rät aus mehreren Gründen davon ab, die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Landnutzungsbereich in den Budgetansatz – und damit auch nicht in den CO<sub>2</sub>-Emissionshandel – einzubeziehen (Kasten 5.7-1). Entwicklungsländer könnten aber die gemäß Budgetansatz über den Emissionshandel erzielten Einnahmen auch für die Minderung ihrer Entwaldungsraten einsetzen, sofern dies im Rahmen der Zweckbindung verankert wird. Darüber hinaus ist jedoch eine eigenständige Finanzierung für diesen Bereich notwendig. Denn erstens gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen den Einnahmen über den Emissionshandel und den Kosten des Waldschutzes, und zweitens müssten die Gelder frühzeitig und verlässlich fließen, damit die Entwaldung möglichst umgehend reduziert werden kann.

## 5.6

### Zehn Gründe für den Budgetansatz

Folgende Gründe sprechen für die Anwendung des WBGU-Budgetansatzes in der internationalen Klimapolitik:

1. *Globale Verantwortung, Gerechtigkeit und Vorsorge:* Die Verbindung der 2°C-Leitplanke mit einem korrespondierenden globalen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget sowie daraus abgeleiteten nationalen Emissionsbudgets stellen die internationale Klimadebatte auf eine transparente und rationale Grundlage. Der Ansatz basiert außerdem auf einfachen, plausiblen Gerechtigkeitsprinzipien. Die Entscheidungsträger von Kopenhagen können daher die Ergebnisse des Gipfels auch national gut vertreten.
2. *Radikale Vereinfachung der Klimaverhandlungen:* Der Budgetansatz verringert durch den einfachen Verteilungsschlüssel für die Berechnung nationaler Emissionsbudgets die Komplexität
3. *Grundlagen eines historischen Klimakompromisses:* Der Budgetansatz ermöglicht einen fairen globalen Interessensausgleich, weil die Staaten aller Ländergruppen Zukunftsverantwortung übernehmen und Zugeständnisse machen müssen. Den Industrieländern verlangen das Gleichheits- und das Verursacherprinzip hohe Reduktionsverpflichtungen sowie umfangreiche Technologie- und Finanztransfers an Entwicklungsländer ab. Die Schwellen- und Entwicklungsländer müssen akzeptieren, dass wirtschaftliche Entwicklung auf Basis fossiler Energieträger nicht mehr möglich ist und sie ihre Volkswirtschaften mittel- und langfristig und mit Unterstützung der Industrieländer ebenfalls dekarbonisieren müssen. Ihr Vorteil ist, dass sie die Nachteile einer fossilen Pfadabhängigkeit kostengünstig vermeiden können.
4. *Transparenz über Emissionsbudgets:* Der Budgetansatz schafft weltweit eine hohe Transparenz über die noch zur Verfügung stehenden CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets (global wie national). Dabei wird deutlich, dass viele Länder umgehend Emissionsminderungsstrategien entwickeln müssen und mit welcher Geschwindigkeit gehandelt werden muss. Außerdem wird offensichtlich, dass wirtschaftliche Entwicklung unter Nutzung fossiler Energie keine Zukunft mehr hat. Für Unternehmen entstehen Stabilität, Erwartungssicherheit und ein klares Anreizsystem für Zukunftsinvestitionen.
5. *Verknüpfung nationalstaatlicher Handlungsspielräume mit internationaler Rechenschaftspflicht:* Der Budgetansatz verstärkt die Legitimität und Notwendigkeit von Klimapolitik, weil auf der Grundlage nationaler Budgets plausible, nachhaltige und international überprüfbare Dekarbonisierungsfahrpläne entwickelt werden müssen. Nationale Verantwortung, Flexibilität für angepasste Lösungen „vor Ort“ und internationale Rechenschaftspflicht werden miteinander verknüpft.
6. *Anreize für langfristiges Handeln:* Durch die Verpflichtung zu nationalen Dekarbonisierungsfahrplänen und die Budgettransparenz wird Langfristigkeit in den Handlungskalkülen der politischen und wirtschaftlichen Akteure verankert.
7. *Knappheitssignale erhöhen Effizienz:* Die globalen und nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets schaffen Knappheiten, die Anreize für klimaver-

trägliches Wirtschaften geben, und zur Schaffung zukunftsfähiger Beschäftigung beitragen.

8. *Klimaschutz stärkt Wettbewerbsfähigkeit:* Im Budgetansatz wird jeder Erfolg bei der Emissionsreduktion und die Steigerung der Energieeffizienz, egal in welchem Land, gleichermaßen honoriert. Minderungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen verwandeln sich in Kapital. So wird in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern ein Anreiz zur Emissionsreduktion geschaffen. Klimaschutz wird zu einem zentralen Faktor zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit.
9. *Neue Chancen für internationale Kooperation:* Industrieländer mit geringen oder aufgebrauchten Emissionsbudgets wären an Klimatechnologiepartnerschaften mit Entwicklungsländern interessiert, deren Minderungspotenziale nicht ausgeschöpft werden. Die „Kohlenstoffdefizitländer“ verfügen über Finanzressourcen, Technologie und Wissen, das in den wenig entwickelten „Kohlenstoffüberschussländern“ dringend gebraucht wird. Aus den komplementären Interessen einzelner Staaten ergeben sich Anreize für bi- und multilaterale sowie regionale Klima- und Dekarbonisierungspartnerschaften, die Entwicklungsländer durch Technologie und Finanztransfers „auf Augenhöhe“ unterstützen.
10. *Klare Rahmenbedingungen für eine klimaverträgliche Weltwirtschaft:* Die mengenmäßige Begrenzung des globalen wie der nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets setzt klare Anreize für den Übergang in ein klimaverträgliches Zeitalter. Es entsteht ein globaler Referenzrahmen für den Emissionshandel, für Technologie- und Finanztransfers sowie für Dekarbonisierungspartnerschaften. Der Budgetansatz weist damit über die Klimaverhandlungen in Kopenhagen hinaus und skizziert die zukünftige Entwicklung einer klimaverträglichen Weltökonomie.

## 5.7

### Optionen für beschleunigten Klimaschutz und Erweiterungen des Budgetansatzes

Mit dem Budgetansatz des WBGU, wie er oben vorgestellt wurde, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen erfasst und bewirtschaftet, also etwa 60 % des gesamten Treibhausgasausstoßes berücksichtigt. Die durch weitere Aktivitäten (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft – im Englischen unter dem Akronym LULUCF zusammengefasst) freigesetzten CO<sub>2</sub>-Mengen sollten nicht in den Budgetansatz aufgenommen, sondern durch gesonderte Regelungen erfasst werden (Kasten 5.7-1). Die im Kioto-Protokoll geregelten fluorierten Treibh-

ausgase (Industriegase) könnten nach dem Muster des Montreal-Protokolls behandelt werden, um eine beschleunigte Minderung zu erreichen (Kasten 5.7-2). Die anderen im Kioto-Protokoll berücksichtigten langlebigen Treibhausgase ließen sich im Prinzip in den Budgetansatz einbeziehen.

#### Kasten 5.7-1

##### Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Entwaldung und Landnutzungsänderungen

Die Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen sollten getrennt von den Emissionen aus fossilen Energieträgern und somit nicht innerhalb des Budgetansatzes behandelt werden. Denn die mit der terrestrischen Biosphäre verbundene CO<sub>2</sub>-Dynamik unterscheidet sich in vielen grundlegenden Aspekten – etwa Messbarkeit, Reversibilität, langfristige Kontrollierbarkeit, zwischenjährliche Schwankungen – erheblich von den CO<sub>2</sub>-Flüssen in Verbindung mit der industriellen Nutzung von Kohle, Erdöl oder Erdgas (WBGU, 2008). Die Möglichkeit zur wechselseitigen Verrechnung der Emissionen aus beiden Sektoren sollte deshalb aus wissenschaftlicher Sicht stark eingeschränkt werden.

Der WBGU rät somit dazu, eine umfassende, separate Vereinbarung zum Erhalt der Kohlenstoffvorräte terrestrischer Ökosysteme zu verhandeln, welche die bisherigen Regelungen zu Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft ersetzt (WBGU, 2003b). Eine solche Vereinbarung könnte sehr schnell wirksam werden und weltweit zu beträchtlichen Reduktionen von CO<sub>2</sub>-Emissionen führen.

In dieser Übereinkunft sollten sich alle Länder dazu verpflichten, ihre Kohlenstoffspeicher wirksam zu schützen. Höchste Priorität müsste die rasche Reduktion der Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung in Entwicklungsländern (REDD) haben. Diese machen global derzeit etwa 17% der Emissionen langlebiger Treibhausgase aus (IPCC, 2007c). Ein REDD-Abkommen innerhalb der Klimarahmenkonvention sollte nach Auffassung des WBGU sowohl rasche reale Emissionsminderungen bewirken als auch Anreize schaffen, die natürlichen Kohlenstoffspeicher (z.B. tropische Primärwälder) dauerhaft vor Entwaldung und Degradation zu schützen.

Als Strategie bietet sich eine Kombination aus nationalen Reduktionszielen und der Ausweisung von Schutzgebieten an. Beispielsweise könnten sich die teilnehmenden Entwicklungsländer dazu verpflichten, ihre künftigen nationalen Emissionen aus Landnutzungsänderungen um bestimmte absolute oder relative Werte zu senken. Sofern dann Emissionen über das vereinbarte Maß hinaus reduziert würden, sollten Finanztransfers über einen Fonds (Kap. 5.4) geleistet werden. Damit würde ein hoher Anreiz geschaffen, die gegenwärtig beträchtlichen LULUCF-Emissionen beschleunigt zu senken; zugleich würde eine Mitverantwortung der Entwicklungsländer für den Klimaschutz eingefordert. Zusätzlich sollten teilnehmende Entwicklungsländer finanzielle Unterstützung erhalten, wenn sie ausgewiesene relevante Gebiete unter Naturschutz stellten. Das Abkommen muss daher internationale Finanztransfers in ausreichender Höhe mobilisieren (Kap. 5.5).

Darüber hinaus gibt es einige kurzlebige klimawirksame Stoffe wie bodennahe Ozon und Rußpartikel, die im Kioto-Protokoll überhaupt nicht geregelt wurden. Auf der Weltklimakonferenz in Kopenhagen sollten sich die Staaten unbedingt dazu verpflichten, die bodennahe Konzentration von Ozon und den Ausstoß von Ruß im Rahmen nationaler Regelungen drastisch zu senken (Kasten 5.7-3).

Wie der WBGU gezeigt hat, ist der Minderungsbedarf bei den fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen dramatisch, wenn die 2°C-Leitplanke mit einer noch vertretbaren Wahrscheinlichkeit eingehalten werden soll. Insbesondere die erforderliche Geschwindigkeit, mit der die entsprechenden Reduktionsmaßnahmen greifen müssen, gibt Anlass zur Sorge. Diese Situation könnte jedoch durch die erfolgreiche – und nach heutigem Wissensstand ausgesprochen kostengünstige – Vermeidung der erwähnten kurzlebigen, strahlungsbilanzrelevanten Stoffe entschärft werden.

### Kasten 5.7-2

#### Fluorierte Treibhausgase

Das Kioto-Protokoll regelt neben den Treibhausgasen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) auch fluorierte Treibhausgase, nämlich Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW). Angesichts der Erfolge des Montreal-Protokolls und seiner Mechanismen beim Schutz der stratosphärischen Ozonschicht sollte erwogen werden, die Treibhausgase FKW und H-FKW anders zu behandeln als CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Eine gesonderte Regelung dieser Gase unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC), inspiriert durch die relevanten Bestimmungen im Rahmen des Montreal-Protokolls, könnte zu einer einfacheren und deutlich schnelleren Minderung dieser klimaschädlichen Substanzen führen. Ein solcher eng begrenzter Ansatz ist möglich und attraktiv, weil für fluorierte Treibhausgase mit hohem Erwärmungspotenzial – ähnlich wie für die Gase, die zu einem Abbau der stratosphärischen Ozonschicht führen – bereits Ersatzstoffe bzw. -technologien auf dem Weltmarkt verfügbar sind (Molina et al., 2009). Daher kann eine Kombination aus schnellen Emissionsreduktionen in den Industrieländern, die mit überschaubaren Kosten verbunden wären, und Übergangsfristen für Entwicklungsländer, die durch einen multilateralen Fonds bei der notwendigen Umstellung unterstützt werden müssten, die UNFCCC-Architektur sichtlich vereinfachen und zugleich eine schnelle Minderung der Industriegase bewirken. Letzteres ist umso wichtiger, als gerade durch das Montreal-Protokoll ein starker Anstieg der H-FKW-Emissionen ausgelöst werden könnte (Velders et al., 2009): H-FKW werden beispielsweise häufig als Substitute für solche Gase eingesetzt, deren Produktion wegen des Montreal-Protokolls bereits ausgelaufen ist oder zukünftig ausläuft.

### Kasten 5.7-3

#### Kurzlebige klimawirksame Stoffe

Kurzlebige, aber durchaus klimarelevante Bestandteile der Lufthülle sind insbesondere Rußpartikel („Black Carbon“) – mit einer atmosphärischen Verweildauer von wenigen Tagen – und bodennahe Ozon, das in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen wie Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen gebildet wird und eine Lebensdauer von wenigen Monaten hat. Diese Bestandteile wurden bisher klimapolitisch nicht berücksichtigt. Nach IPCC (2007a) tragen jedoch atmosphärische Rußpartikel gegenwärtig mit etwa 0,2 W pro m<sup>2</sup> (Kap. 2) direkt zur Erderwärmung bei, der auf Schneeflächen abgelagerte Ruß mit zusätzlichen 0,1 W pro m<sup>2</sup> Strahlungsantrieb. Neuere Schätzungen ergeben sogar einen Beitrag von bis zu 0,8 W pro m<sup>2</sup> (Wallack et al., 2009), was 20–50% des Erwärmungseffekts von CO<sub>2</sub> ausmachen könnte. Regional, vor allem in Gletscher- und Eisgebieten, kann der Beitrag von Ruß zur Erwärmung sogar größer als der von CO<sub>2</sub> sein. Bodennahe Ozon trägt mit 0,35 W pro m<sup>2</sup>, d.h. etwa 20% des Erwärmungseffekts von CO<sub>2</sub>, bei.

Aufgrund der kurzen Lebensdauer dieser Komponenten ist ihre atmosphärische Konzentration (und somit auch ihr Beitrag zur Erderwärmung) nicht wie bei den langlebigen Treibhausgasen durch die historischen Emissionen, sondern nahezu ausschließlich durch ihre Freisetzung in der jüngsten Vergangenheit bestimmt. Politische Reduktionsmaßnahmen könnten also wesentlich schneller Wirkung zeigen, da sie nicht nur den Zuwachs begrenzen, sondern die Konzentration selbst rasch senken würden. Damit könnte der anthropogene Treibhauseffekt einmalig um einen signifikanten Betrag abgeschwächt werden. Wallack und Ramanathan (2009) schätzen, dass eine Reduktion des troposphärischen Ozons um 70% und der Rußpartikel um 50% die globale Erwärmung nahezu instantan um 0,5°C verringern könnte. Dies könnte etwa den kumulativen Effekt von 30 Jahren CO<sub>2</sub>-Emissionen auf heutigem Niveau kompensieren.

Das Gesamtbild ist allerdings wesentlich komplexer: Viele Aerosole mit insgesamt kühlender Wirkung auf die Erdatmosphäre (z.B. Sulfattröpfchen) haben dieselben Quellen wie Rußpartikel. Wenn also beispielsweise eine bessere Filterung des aus Kraftwerksemissionen stammenden Rußes zugleich die Sulfataerosole entfernt, wird dadurch ein Teil der gewünschten klimastabilisierenden Wirkung wieder aufgehoben.

Außerdem kann der relative Abkühlungseffekt durch die atmosphärische Reduktion der Rußpartikel nur einmal erzielt werden. Insofern lässt sich der allgemeine Erwärmungstrend nur stoppen, falls auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Ausstoß anderer sich in der Atmosphäre anreichernden Treibhausgase erheblich gemindert werden. Daher sollte das künftige Weltklimaabkommen eine gesonderte Verpflichtung zur nationalen Reduktion der angesprochenen kurzlebigen klimawirksamen Substanzen umfassen. Dies wäre eine sinnvolle und wichtige Ergänzung zum Budgetansatz für die CO<sub>2</sub>-Emissionen, darf aber keinesfalls als Alternative angesehen werden.



Der vom WBGU entwickelte Budgetansatz bietet nicht nur einen Ausweg aus dem beschriebenen Verhandlungsdilemma (Kap. 1 und 4), er weist auch Wege zur klimaverträglichen Weltgesellschaft. Ob die erforderliche „Große Transformation“ (Polanyi, 1944; Nobel Cause Symposium, 2007) in dem engen verbleibenden Zeitfenster gelingen kann, hängt neben der Kooperationsfähigkeit der relevanten Akteure (insbesondere USA, China, EU und Indien) von der technologischen Innovationsfähigkeit und der politischen Reformfähigkeit unserer Gesellschaften ab. Dem Transformationsdruck stehen auf allen Ebenen kognitive Blockaden und institutionelle Pfadabhängigkeiten, mangelnde Langfristorientierung und Verlustaversion individueller und kollektiver Entscheidungsträger sowie die Blockademacht von Interessengruppen entgegen. Wie diese Barrieren überwunden und bestehende Transformationspotenziale ausgeschöpft werden können, wird im Folgenden skizziert.

## 6.1 Beschleunigung des technologischen Wandels

Um die mit Blick auf die 2°C-Leitplanke erforderlichen Reduktionen der Treibhausgasemissionen zu realisieren, ist ein technologischer Sprung historisch ungekannten Ausmaßes notwendig. Der Stromerzeugung, die gegenwärtig mit rund 40% zu den globalen energiebedingten Treibhausgasemissionen beiträgt, kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Der weltweite Elektrizitätsbedarf wird sich bis 2030 voraussichtlich verdoppeln (gegenüber 2000). Dieser Trend ist nicht nur auf die rasch wachsende Nachfrage in Schwellenländern zurückzuführen (IEA, 2008). Die Einführung der Elektromobilität im großen Stil, die weitere Verbreitung elektrischer Wärmepumpen und Klimaanlage, aber auch die rasch wachsende Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien werden den Strombedarf weltweit erhöhen.

Wegen der langen Laufzeiten von Kraftwerken, typischerweise 40–60 Jahre, brauchen Innovationen

Zeit, um sich durchzusetzen. Die Entscheidung über den Einsatz von Kraftwerkstechnologien hat daher strategischen Charakter, denn sie stellt systemische Weichen für zukünftige Emissionspfade, so dass die Bedeutung von Technologie-, Wissens- und Politiktransfers in diesem Zusammenhang besonders groß ist (Kasten 6.1-2, 6.1-3 und 6.1-5). Simulationsrechnungen mit Hilfe integrierter Analysemodelle („Integrated Assessment Models“), in denen Wirtschafts- und Klimasystem dynamisch miteinander gekoppelt werden, zeigen, dass bereits im Jahre 2010 weltweit nicht mehr als 25% der entsprechenden Investitionen in konventionelle fossile Kraftwerksanlagen fließen sollten, wenn ein gefährlicher Klimawandel verhindert werden soll. Dieser Anteil müsste bis 2020 sogar unter 20% fallen, so dass über 80% der Investitionen auf neue, praktisch emissionsfreie Kraftwerke entfielen (IIASA, 2009). Für diesen Umbau des Kraftwerkbestands zu klimaverträglichen Strukturen gibt es im Wesentlichen drei Optionen: Erstens die Nutzung fossiler Energieträger mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS), zweitens die Kernenergie und drittens den massiven Ausbau erneuerbarer Energien (Wind, Sonne, Wasserkraft, Biomasse, Geothermie usw.).

### CCS-VERFAHREN

Die CCS-Technologien befinden sich weltweit noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Ihr Einsatz in großem Maßstab wird nicht vor 2015 bzw. 2020 erwartet. In einigen Ländern bestehen erhebliche Widerstände gegen diese Technologie, nicht zuletzt weil das tatsächliche Potenzial für die langfristige Speicherung von CO<sub>2</sub> in unterirdischen Lagern noch sehr ungewiss ist. Der IPCC schätzt das globale Speicherpotenzial in Öl- und Gasfeldern sowie Kohleflözen auf 700–11.000 Mrd. t CO<sub>2</sub>. Für unterirdische Wasserleitschichten (Aquifere) hat das UN-Gremium ein zusätzliches Speicherpotenzial von 1.000–10.000 Mrd. t CO<sub>2</sub> ermittelt (IPCC, 2005). Als sicheres Speicherpotenzial hat der WBGU in früheren Gutachten global etwa 1.100 Mrd. t CO<sub>2</sub> ermittelt (WBGU, 2003a). Im Meeresgutachten des WBGU

**Kasten 6.1-1****Umbau der Energiesysteme – eine Chance für den Arbeitsmarkt**

Der Umbau der globalen Energiesysteme hin zu einer rationelleren Nutzung sowie zu erneuerbaren Energieträgern verbessert auch die allgemeinen Beschäftigungschancen. In vielen Fällen führen entsprechende Investitionen netto, d.h. bei Berücksichtigung aller durch die Investitionen ausgelösten Anpassungsreaktionen, zu einem gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungszuwachs. Eine üblicherweise zu erwartende Anpassungsreaktion ist, dass bei verstärkter Förderung erneuerbarer Energien Arbeitsplätze in der fossilen Energieproduktion verloren gehen (Substitutionseffekt). Ebenso kann der heute noch relativ hohe Marktpreis für einige erneuerbare Energieangebote vorübergehend zu geringeren verfügbaren Einkommen der Haushalte führen (Einkommenseffekt), was sich negativ auf die Konsumnachfrage und damit auf die Beschäftigung auswirkt. Beiden Effekten stehen jedoch die zusätzlichen Arbeitsplätze in der nachhaltigen Energieerzeugung und den energieeffizienzbezogenen Sektoren gegenüber. Eine insgesamt positive Beschäftigungsentwicklung lässt sich nicht zuletzt damit erklären, dass die Bereitstellung erneuerbarer Energien und die Durchführung von Effizienzmaßnahmen häufig recht arbeitsintensiv sind. Darüber hinaus sind am Ausbau erneuerbarer Energien viele Arbeitsplätze in Zulieferbetrieben gekoppelt. Zugleich ergeben sich Kosteneinsparungen durch geringeren Energieeinsatz und sinkende Importe von teuren Energieträgern aus dem Ausland, die im Inland reinvestiert werden können (BMU, 2006; Jochem et al., 2008).

Genaue Vorhersagen des zu erwartenden Beschäftigungszuwachses sind bisher nicht möglich. Jochem et al. (2008) kommen für den deutschen Arbeitsmarkt zu

der Einschätzung, dass beispielsweise die Umsetzung des „Integrierten Energie- und Klimaprogramms“ der Bundesregierung vom August 2007 (Meseberg-Programm) bis zum Jahr 2020 brutto, d.h. vor Gegenrechnung möglicher Arbeitsplatzverluste in anderen Branchen, etwa 500.000 neue Arbeitsplätze schaffen könnte. Wenn es Deutschland gelänge, auf dem Weltmarkt einen klaren Wettbewerbsvorteil als Vorreiter bei Klimaschutztechnologien zu erzielen, könnten zwischen 2015 und 2025 weitere 200.000 Arbeitsplätze hinzukommen. McKinsey (2009a) rechnet brutto sogar mit 850.000 neuen Arbeitsplätzen bis zum Jahr 2020, falls Deutschland seine Vorrangstellung in den Branchen „Erneuerbare Energien“ und „Energieeffizienz“ behaupten bzw. weiter ausbauen kann. Eine Studie des BMU geht davon aus, dass allein durch einen forcierten Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland brutto mehr als 130.000 Arbeitsplätze bis 2020 geschaffen werden können, von denen netto etwa 70.000 zusätzliche Arbeitsplätze übrig bleiben (BMU, 2006).

Kammen et al. (2004) schätzen für die USA, dass der Umstieg auf erneuerbare Energien netto ebenfalls höhere Zuwächse an Arbeitsplätzen bringt als die fortgesetzten Investitionen in die Nutzung fossiler Energien. Eine gleichzeitige Förderung von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz würde die Schaffung neuer Arbeitsplätze sogar beschleunigen. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen auch Houser et al. (2009) und Pollin et al. (2008), die für die USA jeweils vergleichende Schätzungen bezüglich der Arbeitsplatzwirkungen von „konventionellen“ und „klimaverträglichen“ Konjunkturpaketen vornehmen. Über einen relativ kurzen Betrachtungszeitraum von ein bis zwei Jahren kommen diese Studien für Investitionen in den Bereichen „erneuerbare Energien“, „nachhaltiger Infrastrukturausbau“ und „Energieeffizienz“ auf ca. 20% mehr neue Arbeitsplätze als in Vergleichsszenarien, die auf der Fortschreibung der derzeitigen Energienutzung basieren.

wurde hergeleitet, dass die Rückhaltezeit in den CO<sub>2</sub>-Speichern mindestens 10.000 Jahre betragen sollte (WBGU, 2006). Der WBGU hat zudem empfohlen, die CCS-Technologien zwar weiterzuentwickeln, ihre Anwendung jedoch zeitlich und mengenmäßig zu begrenzen, um die Risiken von unkontrollierten Rückflüssen des Kohlendioxids in die Atmosphäre zu reduzieren (WBGU, 2006). Mit fossilen Energieträgern betriebene CCS-fähige Kraftwerke werden daher selbst aus globaler Perspektive bestenfalls als eine mittelfristige Übergangslösung gesehen, die außerdem noch zeigen muss, dass sie sich im ökonomischen Wettbewerb mit anderen klimaverträglichen Technologien behaupten kann. CCS-Verfahren könnten allerdings in späteren Klimaschutzstadien wichtig werden, falls es notwendig werden sollte, der Atmosphäre aktiv CO<sub>2</sub> zu entziehen („negative CO<sub>2</sub>-Emissionen“), etwa durch die Sequestrierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung von Biomasse (WBGU, 2009). Diese Strategie würde allerdings erst dann richtig greifen, wenn das industrielle Energiesystem bereits weitgehend dekarbonisiert wäre.

**KERNENERGIE**

Keinen geostrategischen Ausweg aus dem Klimadilemma sieht der WBGU im Ausbau der Kernenergie, die heute mit gut 400 Reaktoren mit einer durchschnittlichen Leistung von 0,85 GW etwa 16% der globalen Stromerzeugung bewältigt. Bei einer erwarteten Steigerung des weltweiten Strombedarfs um 300% bis zur Mitte des Jahrhunderts (IAEA, 2008) und einem signifikant größeren Anteil der Kernkraft am Stromerzeugungsportfolio (z.B. 30%) müsste die Strommenge aus Kernreaktoren immerhin um den Faktor 6 gesteigert werden. Dies würde bis 2050 den zusätzlichen Bau von ca. 1.000 großen Reaktoren (mit je 1,6 GW Leistung) erforderlich machen. Die dafür benötigte Brennstoffmenge ließe sich wahrscheinlich nur über die Einführung der Brütertechnologie und damit einer Plutoniumkreislaufwirtschaft im Großmaßstab bereitstellen. Abgesehen von den daraus resultierenden Proliferations-, Terrorismus- und anderen Sicherheitsproblemen gibt es bis heute kein einziges erfolgreiches und akzeptiertes Projekt zur Endlagerung nuklearer Brennstoffe.

**Kasten 6.1-2****Technologie-, Politik- und Wissenstransfer im WBGU-Budgetansatz**

Der Budgetansatz des WBGU schafft Anreize für den internationalen Technologietransfer (Kap. 5.4 und 5.5). Die schnelle Einführung emissionsarmer Verfahren in Schwellen- und Entwicklungsländern ist für die Einhaltung der 2°C-Leitplanke unerlässlich und sollte durch intensive Zusammenarbeit zwischen Nord und Süd beschleunigt werden. Dabei ist der Schutz geistigen Eigentums zu berücksichtigen.

Flexible Mechanismen wie der Emissionshandel und Joint Implementation können zur Finanzierung von Technologie- und Wissensaustausch beitragen und die globale Verbreitung klimaverträglicher Verfahren und Systeme unterstützen (Kap. 5). Technologie- und Wissenstransfer ist an eine Reihe von Erfolgsbedingungen geknüpft. Technologietransfer muss sowohl die Technologie als auch das erforderliche Wissen für Betrieb und Wartung beinhalten. Für den effizienten Betrieb emissionsarmer Technologien muss

der Technologieempfänger weiterhin in die Lage versetzt werden, die Technologien an die lokalen Gegebenheiten anzupassen (inkrementelle Innovation). Zur Kostensenkung müssen lokale Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Um die langfristige, breite und schnelle Anwendung von emissionsarmen Technologien zu gewährleisten, muss die Diffusion durch die Implementierung geeigneter nationaler Umwelt- und Energiepolitiken unterstützt werden.

Ein Beispiel für Energiepolitik, mit der die wettbewerbliche Entwicklung und Diffusion klimaverträglicher Technologien unterstützt wird, ist der „Top-Runner-Ansatz“, wie er in Japan entwickelt worden ist (Kikkawa, 2009). Er zielt auf die Steigerung der Energieeffizienz, indem das effizienteste Gerät zum Standard einer bestimmten Branche erhoben wird.

Ein weiteres Element der verstärkten Zusammenarbeit sollte in der Schaffung gemeinsamer Forschungs- und Bildungseinrichtungen bestehen. Auf diese Art wird die gemeinsame Weiterentwicklung und Anpassung bestehender Technologien an die Rahmenbedingungen des jeweiligen Partnerlandes möglich.

**ERNEUERBARE ENERGIEN**

Als vom WBGU bevorzugte Option stehen die erneuerbaren Energien zur Verfügung. Sie haben das Potenzial, den globalen Energiebedarf heute und auch in Zukunft zu decken. Sie können kostenseitig teilweise bereits jetzt mit konventionellen Kraftwerken konkurrieren (z.B. Windenergie an guten Standorten) und lassen sich derzeit noch mit sehr hohen Wachstumsraten (über 20% jährlich) einführen, wenn geeignete Anreizstrukturen gegeben sind. In den kommenden Jahrzehnten können sowohl die nachhaltige Bioenergienutzung als auch die Windenergie auf Grund ihrer robusten Wettbewerbsfähigkeit und der heute schon vorhandenen Kapazitäten die größten Beiträge zur Transformation der Energiesysteme leisten. Die Solarenergie mit ihrem praktisch unbegrenzten Potenzial wird dann gegen Mitte des Jahrhunderts zur dominierenden Technologie werden, auch weil vor allem die Nutzung der Bioenergie an Nachhaltigkeitsgrenzen stoßen dürfte (WBGU, 2009).

Eine unabdingbare Voraussetzung für einen Stromverbund, der im Wesentlichen aus erneuerbaren Energiequellen schöpft, sind erheblich verbesserte Netzstrukturen, die Transport und Integration über weite Distanzen ermöglichen („Super-Grids“). Diese Netze müssen nicht nur flexibel auf die fluktuierende und dezentrale Einspeisung, sondern auch auf geänderte Nutzungsbedingungen (z.B. durch die massive Ausweitung der Elektromobilität) reagieren und deshalb mit Unterstützung von fortgeschrittenen Informations- und Kommunikationstechnologien „intelligent“ gemacht werden („Smart-Grids“, „Inter-Grids“). Beide Anforderungen sollen die sogenannten „Super-Smart-Grids“ (Kasten

6.1-4) erfüllen. Der Aufbau solcher hochmodernen Strukturen ist nach Ansicht des WBGU die wichtigste Voraussetzung für die beschleunigte Nutzung der erneuerbaren Energien, aber auch für die umfassende Implementierung effizienzsteigernder Innovationen und Maßnahmen. Beispiele im letzteren Zusammenhang sind die schon mehrfach erwähnte Elektromobilität, aber auch die Kraft-Wärme-Kopplung oder Wärmepumpen. Der Aufbau so neuartiger und umfassender Infrastrukturen wird sicherlich nicht allein über marktwirtschaftliche Mechanismen gelingen. Er erfordert auch strategisches und proaktives Handeln auf der Regierungsebene sowie die Schaffung eines entsprechenden rechtlich-institutionellen Ordnungsrahmens.

**EFFIZIENZSTEIGERUNGEN**

Ohne ordnungs- und förderpolitische Maßnahmen wird die Nachfrage nach Elektrizität in manchen Regionen der Erde rascher wachsen als die Kapazitäten der erneuerbaren Energiequellen. Wie bei technologischen Diffusionsprozessen allgemein der Fall, wird auch der nachhaltige Umbau des Energiesystems das Resultat exponentieller Dynamiken sein, die also in der Anfangsphase nur relativ kleine Beiträge liefern, welche aber später extrem schnell zunehmen. Die Anstrengungen zur klimaverträglichen Umgestaltung des Primärenergieangebots müssen deshalb gerade zu Beginn nachfrageseitig ergänzt werden. Dies sollte durch eine umfassende Strategie zur Effizienzsteigerung in der Energienutzung über alle Sektoren von Wirtschaft und Gesellschaft hinweg geschehen. Viele der daraus resultierenden Investitionen in Endnutzereffizienz werden auch positive Arbeitsmarkteffekte sowie andere Vor-

**Kasten 6.1-3****Beispiel Politiktransfer: Eine weltweite Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien**

Das in Deutschland erfolgreiche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat nicht nur dort eine starke Innovationsdynamik ausgelöst: Über 30 Staaten weltweit setzen inzwischen dieses Förderinstrument ein, darunter auch Entwicklungs- und Schwellenländer wie Brasilien, Südafrika, Indonesien und China (REN21, 2009). Allerdings unterstützt das EEG überall ausschließlich die nationale Energiebereitstellung. Strom aus Regionen außerhalb einer Staatsgrenze kann nicht gefördert werden, auch wenn dort günstigere Verhältnisse zur Nutzung von Wind- und Sonnenenergie herrschen. Die Schaffung eines transnationalen EEG über die nationalen Grenzen hinaus, angewandt auf Großregionen

wie die EU oder den Nahen und Mittleren Osten, könnte diesen Nachteil beheben und einen enormen Innovations-schub bewirken. Zusätzlich hätte eine Geltungsbereichs-erweiterung den Vorteil, dass mit dem Wachsen der nach einheitlichen Maßstäben geförderten Fläche immer mehr erneuerbare Quellen ins Netz einspeisen würden, was die Fluktuationen beim Stromangebot immer weiter glätten könnte. Im Rahmen eines solchen institutionell-technologischen Integrationsansatzes ergäben sich ausgezeichnete Perspektiven für Partnerschaften vieler Länder. Die resultierende Vernetzung der Volkswirtschaften wäre zugleich eine friedenssichernde Maßnahme. Die mit der Einführung des transnationalen oder gar globalen EEG verbundenen Kosten könnten entweder, wie in Deutschland, von allen Stromverbrauchern gemeinsam getragen werden, oder aber durch eine internationale Finanzierung.

**Kasten 6.1-4****Beispiel Technologietransfer: transnationale „Super-Smart-Grids“**

„Super-Smart-Grids“ reagieren flexibel auf die oftmals rasch und stark schwankende Stromspeisung durch Wind- und Solarenergieanlagen. Zusätzlich beziehen sie aber auch Verbraucher in das gesamte Energiemanagement mit ein und gestatten daher die Berücksichtigung von Spitzenlasten beim Abgleich von Angebot und Nachfrage für Elektrizität. Solche Netztechnologien und -strukturen sowie eine

viel weiterreichende räumliche Integration sind wichtige Voraussetzungen für die unbeschränkte Einbeziehung fluktuierender Quellen in die künftigen Erzeugungsportfolien. Anders als die erneuerbaren Energien selbst, die natürlicherweise dezentral verteilt sind, stellen Grids der Zukunft strategische Infrastrukturen dar, die zentral geplant und realisiert werden müssen. Auch in dieser Hinsicht sind sie vergleichbar mit Straßen- oder Eisenbahnnetzen, ebenso in Bezug auf ihren Betrieb. Die Leistungsfähigkeit moderner Super-Smart Grids für den Stromtransport würde bei einem Vielfachen der Transportkapazität heutiger Netze liegen.

**Kasten 6.1-5****Beispiel Wissenstransfer: Gemeinsame Forschung und Ausbildung**

In Ergänzung zum Transfer existierender Verfahren können durch Forschungsk Kooperationen zwischen Industrie-, Schwellen-, und Entwicklungsländern auch Technologien neu bzw. weiterentwickelt werden. Die gemeinsamen Forschungsergebnisse sollten dann der Industrie zur freien Nutzung überlassen werden. Partnerschaftliche Forschung ist auch notwendig, um die Aus- und Weiterbildung in Schwellen- und Entwicklungsländern auf dem aktuellsten

Niveau von Wissenschaft und Technik durchzuführen. Die Zusammenarbeit sollte deshalb insgesamt Ausbildung, Forschung und Industriekooperation umfassen. Dabei muss gewährleistet sein, dass Informations- und Wissensaustausch sowohl zwischen Lehre, Wissenschaft und Wirtschaft einerseits als auch zwischen den beteiligten Ländern andererseits stattfindet. Als Forschungsthemen kämen insbesondere Systemanalysen in Frage (Gewinnung, Speicherung und Verteilung erneuerbarer Energien; Stromnetze der Zukunft; elektrische Verkehrsantriebe; Gebäudeklimatisierung; energetische Nutzung von Biomasse usw.). Die Ausbildung sollte Masterstudiengänge und Doktoranden-ausbildung umfassen.

teile mit sich bringen (Kasten 6.1-1). Diese Effizienz-revolution kann im ersten Jahrzehnt der „Großen Transformation“ sogar den Hauptbeitrag zur Emissionsreduktion liefern. Forschungs- und Förderprogramme, insbesondere die „Hightech-Strategie für Deutschland“ der Bundesregierung (BMBF, 2006), sind dafür unabdingbar. Parallel dazu schaffen Investitionen in erneuerbare Energiesysteme die langfristigen Grundlagen der Dekarbonisierung.

**KOSTEN**

Konsequent und intelligent umgesetzt, erlaubt die Kombination der skizzierten Strategien nicht nur den nachhaltigen Umbau der globalen Energiesysteme, sondern ist über längere Zeiträume betrachtet auch eine kostengünstigere Option als „Energy Business As Usual“: Die zwischen 2010 und 2050 notwendigen Investitionen zur globalen Stromerzeugung mit klimaverträglichen Energien, einschließlich der zu erstellenden Super-Smart-Grids, belaufen sich in der Summe auf etwa 21.000 bis 34.000 Mrd. US-\$, je nach weltweiter Entwicklung der Bevölkerungszah-

len und des Wirtschaftsverlaufs. Diese Summe liegt lediglich um 10–39% höher als die Investitionskosten in den konventionellen Szenarien (IIASA, 2009). Einsparungen durch Effizienzverbesserung, rationellere Energienutzung und entfallende Ausgaben für fossile Energieträger (insbesondere bei Nutzung von Sonne, Wind und Wasserkraft) würden diese Zusatzinvestitionskosten jedoch weitgehend kompensieren. In einigen plausiblen Umbauszenarien entstehen langfristig betrachtet sogar geringere Kosten als im fossilen Referenzszenario.

## 6.2 Internationale Kooperationsrevolution

### Globale Herkulesaufgabe steht an

Wenn die Nationen ihren Verbrauch an fossilen Energieträgern fortsetzen, drohen sie das Erdsystem irreversibel zu beschädigen und die Menschheit in eine instabile, konfliktgeladene Zukunft zu führen (WBGU, 2008; Messner und Rahmstorf, 2009). Die wichtigsten Emittenten verfügen durchaus über das Potenzial, die Klimakrise durch Kooperationsverweigerung zu beschleunigen; dies gilt für die hauptverantwortlichen Industrieländer, aber auch für bevölkerungsreiche Wachstumsländer wie China und Indien sowie für Nationen, die über große Wälder mit momentan hohen Entwaldungsraten verfügen, wie Brasilien, Indonesien, Malaysia, Myanmar und die DR Kongo (Bauer und Richerzhagen, 2007). Die Verhandlungsblockaden auf dem Weg nach Kopenhagen demonstrieren diese Gemengelage. Das Ergebnis ist eine Art „Mikado-Spiel“: Wer sich zuerst bewegt, scheint verloren zu haben (Depledge, 2005; Ott et al., 2008).

Die internationale Klimapolitik muss diesen gordischen Knoten durchschlagen und im Dezember 2009 in Kopenhagen die „Kohlenstoffabrüstung“ auf breiter Front einleiten. Die Anerkennung der Bedeutung der 2°C-Leitplanke beim G8-Gipfel in L'Aquila im Juli 2009 durch die 16 führenden Wirtschaftsmächte (Major Economies Forum on Energy and Climate, zum dem auch die G8 gehört) war ein beachtlicher Fortschritt, der nun in konkrete Reduktionsschritte übertragen werden muss. Da das Maximum der globalen Emissionen 2015–2020 erreicht sein sollte, muss sich die Zusammenarbeit in der globalen Klimapolitik ab sofort und in den kommenden Jahrzehnten erheblich beschleunigen und vertiefen, um einen Durchbruch in Richtung einer klimaverträglichen Weltwirtschaft zu erreichen.

Eine globale Herkulesaufgabe deutet sich an: Es geht um die Etablierung eines Emissionshandels für alle Länder, den Aufbau einer Weltklimabank, globale Anstrengungen zur Schaffung eines von fossi-

len Energieträgern immer unabhängigeren Energiesystems, internationale Strategien zum Aufbau klimaverträglicher Städte, internationale Energie- und Kohlenstoffeffizienzstandards und eine Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Anpassung an den Klimawandel. Es muss eine „Klimaweltinnenpolitik“ entwickelt werden, um den Ausstieg aus dem Zeitalter der fossilen Energieträger einzuleiten und zu steuern.

### Normalmodus internationaler Politik nicht ausreichend

Der „Normalmodus“ internationaler Kooperation ist dafür zu langsam, denn er tendiert zu Einigungen auf dem kleinsten gemeinsamen Nenner und folgt der Logik nationaler Interessen sowie des Wettbewerbs zwischen Nationen (Chasek, 2001; Newman et al., 2006). Auch die bisherigen Versuche, nationale und internationale Interessen zu bündeln, sind zu langsam verlaufen; Beispiele hierfür sind die ergebnisarmen Verhandlungsrunden der Welthandelsorganisation (WTO), die weitgehend rhetorisch gebliebenen Millenniumsentwicklungsziele (Millennium Development Goals, MDG) und selbst Politikprozesse innerhalb der am weitesten fortgeschrittenen Arena grenzüberschreitender Kooperation, der Europäischen Union. Das bedeutet: Die bei vielen politischen Entscheidungsträgern durchaus verbreitete Überzeugung, in einer eng vernetzten Welt sei die zunehmende Zahl von Weltproblemen nur durch Global Governance zu lösen, übersetzte sich bisher nicht in die wünschenswerte Beschleunigung und Routinierung internationaler Zusammenarbeit. Überkommene Machtstrukturen, unübersichtliche Interessengeflechte und -divergenzen sowie die Komplexität von Verhandlungsprozessen standen auch dem Kioto-Prozess (mit bis zu 192 Staaten) entgegen (Victor, 2007).

Eine erfolgreiche Klimapolitik, die sich an der 2°C-Leitplanke orientiert, ist daher auf eine inhaltliche und institutionelle Neuausrichtung der internationalen Kooperation angewiesen. In der Geschichte gibt es dafür kaum Beispiele, mit Ausnahme der seinerzeit völlig unerwarteten Reformpolitik von Michail Gorbatschow. Der damalige sowjetische Staatspräsident hatte sich eingestanden, dass das realsozialistische Modell bankrott war und eine Aufrechterhaltung des starren Konfrontationsmusters zwischen Ost und West den ökonomischen sowie politischen Niedergang der Sowjetunion und ihrer Verbündeten beschleunigen und die Gefahr internationaler Konfrontation erhöhen würde (Wassmund, 1993; Checkel, 1997). Damit wurde der Weg frei für das Ende des atomaren Ost-West-Konfliktes. Das Problem des globalen Klimawandels weist dazu gewisse Parallelen auf: Das auf der Nutzung fossiler

Energieträger beruhende Entwicklungsmodell steht ebenfalls vor einer tiefgreifenden Krise. Käme es zu einer „Realitätsverweigerung“ der Entscheidungsträger und nicht zu dem nötigen Umbau des auf fossiler Energie beruhenden Wirtschaftssystems, dann wäre früher oder später eine Destabilisierung der Weltwirtschaft sehr wahrscheinlich. Eine weiterhin auf kurzfristige Interessendurchsetzung orientierte internationale Verhandlungstaktik kann zu gefährlichen Klimaänderungen führen und so immense internationale Spannungen und Konflikte fördern (WBGU, 2008; Homer-Dixon, 2009). Analog zum Ende des Kalten Krieges kommt es daher aus Sicht des WBGU jetzt darauf an, diese Realität anzuerkennen und klimapolitisch entschlossen zu handeln.

Für die zur Einhaltung der 2°C-Leitplanke notwendige globale Kooperation gibt es keine historischen Präzedenzfälle. Anführen könnte man höchstens (in Anlehnung an Al Gore) das 1960 gestartete Apollo-Programm der US-Regierung, in dem ein klares, anfangs genauso utopisch erscheinendes Ziel (der Mensch auf dem Mond) vorgegeben wurde, das binnen zehn Jahren zu realisieren war. Um das zu erreichen, wurden in einem bis dahin unbekanntem Umfang Ressourcen (25 Mrd. US-\$) und Humankapital (400.000 Menschen) eingesetzt; ebenso wichtig war das Engagement der damaligen Kennedy-Regierung, die klare Ziele und Zeitkorridore setzte. Unter den völlig anderen Prämissen der Klimapolitik ist jedoch eine räumlich und inhaltlich viel weitreichendere Kombination politischer Führungskraft, technischer Innovationskraft und politischer Dynamik notwendig. Das Programm der weltweiten Dekarbonisierung ist begründet durch eine existenzielle Bedrohung der Menschheit in Gestalt eines gefährlichen Klimawandels und die dargelegte Dringlichkeit politischen Handelns. So setzt die Abkehr von der fossilen Wirtschafts- und Energiepolitik in historischer Dimension einen analogen politisch-moralischen Willensakt voraus, wie die Abschaffung der Sklaverei oder der Kinderarbeit im 19. Jahrhundert. Motor dieser Initiativen waren nicht technisch-ökonomische Vorteile, die sich erst im weiteren Verlauf der Industriellen Revolution herausstellten, sondern der gewollte Bruch mit einer unhaltbaren Gewohnheit.

#### DER PARADIGMENWECHSEL VON L'AQUILA

Die Staats- und Regierungschefs der G8-Staaten und das Forum der 16 führenden Wirtschaftsmächte (Major Economies Forum on Energy and Climate, MEF) – darunter neben der G8 auch Indien, Brasilien und China – haben im Juli 2009 im italienischen L'Aquila die Bedeutung der 2°C-Leitplanke zur Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels anerkannt. Jetzt kommt es darauf an, diese Leitplanke völkerrechtlich verbindlich zu verankern. Um ange-

messene Reduktionsverpflichtungen durchzusetzen, müssen zugleich die Weichen in Richtung einer klimaverträglichen Weltwirtschaft gestellt werden. Unabdingbar sind dazu das koordinierte Vorgehen der „großen Drei“ (USA, Europäische Union und China), der Einbau der klimapolitischen Agenda in die Reformbemühungen multilateraler Mehrebenenpolitik (etwa im Rahmen der G20) sowie eine klimaverträgliche Neuausrichtung der internationalen Entwicklungskooperation (Bauer, 2008; Scholz, 2009). Um eine vertrauensvolle finanzielle, technologische, politische und wissenschaftliche Zusammenarbeit auf einem bisher ungekanntem Niveau zu erreichen, geht es darum, ein Entwicklungsstadium internationaler Politik zu überwinden, das primär auf nationalen Interessen und deren machtvoller Durchsetzung beruhte (Müller, 2008). Dazu sind Wille und Führungsfähigkeit der zentralen Entscheidungsträger gefordert.

Die Herausforderung Klimawandel ist mit dem überkommenen Muster internationaler Politik nicht zu lösen, die sich an der Teilung von Risiken und der Umverteilung von Leistungen orientiert hat. Weil ein ungebremster Klimawandel eine globale, kollektive Bedrohung darstellt, müssen zukünftig Menschheitsinteressen absoluten Vorrang gegenüber kurzfristigen nationalen Interessen haben. Ansätze dazu zeigen sich bereits im gegenwärtigen Umbau der globalen Governance-Strukturen, die durch eine Koexistenz alter und neuer Agenden sowie hegemonialer und multilateraler Entscheidungsprozesse gekennzeichnet sind (Cooper und Antkiewicz, 2008; Nuscheler und Messner, 2009). Inhaltlich zeichnet sich globale Klimapolitik dadurch aus, dass sie nicht auf sektorale Lösungen ausgerichtet bleiben kann, sondern organisch mit der Reorganisation von Weltfinanzsystem, Welthandel und Entwicklungszusammenarbeit verbunden ist.

Institutionell bedeutet der Beschluss von L'Aquila zum einen, die 2°C-Leitplanke zum Weltmaßstab der Klimapolitik zu erheben und zum anderen, dass neue Formationen globalen Regierens notwendig werden. Dazu gehört die Konsolidierung von „auf Augenhöhe“ stattfindenden Verhandlungen zwischen den alten (z.B. USA, EU, Japan) und den neuen Hegemonialmächten (China), die im Weltsicherheitsrat als Vetomächte auftreten. In diese Verhandlungen sind aber auch die weiteren aufstrebenden Nationen (Brasilien, Russland, Indien) mit einzubeziehen und fallweise Regionalmächte wie Mexiko, Ägypten, die Türkei und Indonesien einzubinden.

Die alte G7/G8 betätigt sich in dieser erweiterten Arena nicht länger als ein hegemoniales Zentrum, sondern eher als eine Art Relaisstation und Vorbereitungsforum. Zugleich bestehen in einer variablen Verhandlungsarchitektur Verbindungen zu den

zahlreichen Konferenzinstitutionen der UN-Familie, die weiterhin das ganze Gewicht aller G192-Staaten einbringen (Schechter, 2005; Bauer, 2008). Vernetzungen bestehen ferner mit politisch-wirtschaftlichen Regional- und Kontinentalverbänden wie der EU, dem Mercosur oder der Afrikanischen Union (Debiel, 2009). Zudem wird die globale Klimapolitik künftig im Rahmen des Emissionsrechtehandels der Klimarahmenkonvention auch von bilateralen Partnerschaften bestimmt sein. Diese flexible, aber auch fragile Verhandlungsarchitektur in einem verschachtelten Mehrebenensystem kann nur funktionieren, wenn sie sich an klaren Handlungsprämissen orientiert und genügend demokratische Legitimation und Partizipation in nationalen und lokalen Handlungsarenen erfährt.

### 6.3

#### **Globales Regieren und lokales Handeln: Ein Bündnis von Pionieren des Wandels**

Eine wesentliche Barriere globalen Regierens besteht in der Pfadabhängigkeit von Politik, Wirtschaft und Technologien (Pierson, 2004). Die bestehenden Gefüge an Institutionen (Normen, Verträge, Verhandlungs- und Entscheidungsmodi usw.), aber auch an Technik und Infrastrukturen behindern tiefgehende gesellschaftliche Veränderungen. Pfadabhängige Entwicklungen führen in Politik und Wirtschaft häufig dazu, dass sich Fehler verfestigen und Lerneffekte ausbleiben. Ein grundlegender Pfadwechsel, hier der Übergang in eine klima- und ressourcenverträgliche Wirtschaft und Gesellschaft, erfordert komplexe Lernprozesse und grundlegende Innovationen. Das bedeutet auch, Ressorts und Kompetenzen innerhalb von Regierung und Verwaltung neu zuzuschneiden. Seit den 1970er Jahren sind in den meisten OECD-Ländern und darüber hinaus Umweltministerien und -verwaltungen entstanden, die auf neue Herausforderungen reagiert haben. Heute geht es darum, die Politik in den Bereichen Energie, Wirtschaft, Bildung, Forschung, Finanzen und Arbeit von vornherein unter dem Primat klimaverträglichen Wirtschaftens zusammenzuführen. In diesem Sinne sind Nachhaltigkeits- und Klimaeffekte bei Gesetzesvorhaben grundsätzlich zu berücksichtigen und „Zukunftsverträglichkeitsprüfungen“ vorzunehmen.

Die Transformation von Gesellschaften in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaverträglichkeit kann aber nicht allein durch politische Vorgaben „von oben“ gelingen. Auch Konsumentinnen und Konsumenten sowie Wählerinnen und Wähler müssen ihre Entscheidungen so treffen, dass ihr langfristiger Nutzen optimiert wird. Sie müssen dies auch dann tun, wenn damit kurzfristig Nutzeneinbußen in Form

höherer Kosten verbunden sind oder zu sein scheinen. Die Ursachen für die mangelnde Langfristorientierung und die Verlustaversion einzelner Entscheidungsträger sind vielfältig. Eine besonders wichtige Rolle spielen mangelndes Wissen und Unsicherheit über die künftigen Kosten und Nutzen der gegebenen Handlungsoptionen. Je höher die Unsicherheit ist, desto stärker werden Entscheidungsträger und Verbraucher künftige Gewinne abdiskontieren und sich schwerlich auf Projekte einlassen, für die man „einen langen Atem“ braucht. Je später der Nutzen einer Handlung auftritt, je weniger dieser für den Einzelnen erkennbar ist und je früher Kosten entstehen, desto größer wird die Verlustgefahr eingeschätzt. Auch ist weniger damit zu rechnen, dass individuelle Akteure sich für solche Handlungsmöglichkeiten begeistern und einsetzen werden. Kurzfristig orientiertes Handeln und das Vermeiden von Verlusten sind um so stärker verbreitet, je niedriger die verfügbaren Einkommen bzw. der Lebensstandard der Entscheidenden sind (Lorenzoni et al., 2007). Politische Innovationen sind zum Scheitern verurteilt, wenn ihnen Akteure widersprechen, deren Zustimmung verfassungsrechtlich oder realpolitisch unabdingbar ist (Vetospieler). Je mehr kollektive oder eigenständige Vetospieler auftreten und je inhomogener und kompetitiver sie agieren, desto unwahrscheinlicher wird die Veränderung des Status quo (Tsebelis, 2002).

#### INNOVATION DURCH PIONIERE DES WANDELS

Um diese Stagnation zu überwinden, kommt „Change Agents“ oder Pionieren des Wandels eine zentrale Bedeutung zu – das sind strategische Gruppen, die beim sozialen Wandel vorangehen und ein Bewusstsein seiner Chancen verbreiten. Perioden „großer Transformation“ waren historisch geprägt durch neue Technologien und Leitsektoren der Wirtschaft, aber mehr noch von aufstrebenden sozialen Klassen, die den Wandel von Institutionen und Mentalitäten vorantrieben (Rogers, 2003). Strategische Gruppen und Allianzen wirkten gesellschaftsweit und über nationale Grenzen hinweg als Rollenmodelle und Trendsetter; so verschafften sie isolierten (oder zunächst chancenlos wirkenden) Innovationsimpulsen kulturelle Hegemonie.

Pioniere des Wandels verbreiten Innovationen, indem sie Weltbilder in Frage stellen, eingefleischte Einstellungs- und Verhaltensmuster herausfordern und bei potenziellen Mitstreitern Motivation zum Wandel schaffen. Pioniere des Wandels finden sich heute in zahlreichen gesellschaftlichen Bereichen, in der Politik und in der Verwaltung. Dazu gehören etwa Nichtregierungsorganisationen, wie etwa Umwelt- und Bürgerinitiativen, Kirchen, Stiftungen, die Wissenschaft, Parteien, Fachressorts von Kommunalver-

waltungen, Bundes- und Landesministerien sowie die Generaldirektionen der Europäischen Kommission. Man trifft solche Pioniere des Wandels auch in Unternehmen der Energiebranche, autonomen Energiegenossenschaften, Pilotprojekten und in der anwendungsorientierten Forschung sowie den unterschiedlichsten Berufsgruppen an (z.B. Ingenieure, Stadtplaner, Architekten). Diese Akteure verbindet, dass sie in der Dekarbonisierung der Wirtschaft, der Städte und der Mobilität enorme Chancen und kreative Herausforderungen sehen. Oft arbeiten solche Akteure isoliert und verstreut; es fehlt zunächst ein Bewusstsein für die Möglichkeiten, politische Allianzen bilden zu können. Oft wissen aber auch die Führungseliten nicht, dass sie unter diesen Pionieren potenzielle Bündnispartner für die Kommunikation und Durchsetzung vermeintlich unpopulärer Politiken besitzen.

Die Verhandlungen zum globalen Klimaschutz werden scheitern, wenn „die Menschen“ nur die technischen Termini und diplomatischen Formelkompromisse in Abschlusskommuniqués wahrnehmen und Klimaschutz als rein staatliche Veranstaltung „von oben“ missverstehen. Momentan werden die Verhandlungen von der Mehrzahl der Menschen kaum noch verstanden und die klimapolitischen Unterhändler besitzen für die Bürgerinnen und Bürger eine nur noch schwer nachvollziehbare demokratische Legitimität. Zwar fordert Klimaschutz entschlossenes nationalstaatliches und supranationales Handeln, eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik ist aber nur möglich, wenn die Bevölkerungen der Hauptverursacherländer sich selbst als Verantwortliche begreifen. Das erfordert eine für Bürger verständliche Regionalisierung der Klimaschutzziele bis auf die Ebene der Stadtteile und Gemeinden und eine interaktive Rückkopplung der Klimapolitik bis auf höchste Ebenen staatlichen sowie unternehmerischen Handelns. Nicht zuletzt kommt es auf eine gelungene Einbettung der Thematik an: Energieeffiziente und klimafreundliche Handlungen von Konsumentinnen und Konsumenten werden wahrscheinlicher, wenn es gelingt, die kurzfristig zu erwartenden Kosten und Zumutungen gegenüber dem mittel- bis langfristig eintretenden Nutzen in den Hintergrund treten zu lassen.

Deshalb müssen die Bevölkerungen auf die tief greifenden Konsequenzen hingewiesen werden, die zu Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels erforderlich sind; parlamentarische Debatten und Stellungnahmen von Nichtregierungsorganisationen sind hier ebenso wichtig wie Aktions- und Bildungsprogramme zum Verbraucherverhalten und allgemeinere politisch-kulturelle Informations- und Bildungsangebote. Wegen der extrem langen Dauer von Klimaprozessen muss ein zeitliches Verantwortungs-

bewusstsein über Generationen hinweg entwickelt werden. Klimapolitik „von unten“ muss deshalb selbstreflexive und partizipative Komponenten beinhalten, also die Zielgruppen und „Laien“ selbst als Wissensgenerierende, Akteure, Verstärker und Multiplikatoren einbeziehen.

#### KULTUR DER TEILHABE FÖRDERN

Im Zusammenwirken der Befürworter eines „Global Green Deal“ aus den verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen kann eine neue, positive Kultur der Teilhabe entstehen, die sich auf allen Ebenen politischen Engagements artikuliert: bei Wahlen, in Vereinen, Verbänden, Parteien, in Nichtregierungsorganisationen sowie in außerparlamentarischen Kampagnen und Aktionen für Klimaschutz, Energiewende und Nachhaltigkeit. In Betracht kommt hier die wachsende Gruppe strategischer Konsumenten, die nicht nur klimabewusst einkaufen, sich ernähren und fortbewegen, bauen und heizen, sondern Konsummuster selbst in Frage stellen und sie unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten verändern (Lamla und Neckel, 2006).

Eine Hauptmotivation für nachhaltige Energienutzung und Energiesparen ist sicher ein spürbarer finanzieller Anreiz, unterstützt durch öffentliche Subventionen. Doch eine beachtliche Zahl an Verbrauchern verändert das Konsumverhalten auch auf der Grundlage allgemeiner Normen von Nachhaltigkeit, also dann, wenn zum Ergebnisnutzen durch die Mitwirkung an einem breiteren bürgergesellschaftlichen Projekt ein zusätzlicher Prozessnutzen kommt. Gemeint ist das Selbstbewusstsein, etwas Nützliches und Gutes für die Um- und Nachwelt getan zu haben und dafür von anderen anerkannt zu werden (Frey und Stutzer, 2002). In diesem Fall bekommt die individuelle „rationale Wahl“ eine Dimension kollektiver Identität.

Klimapolitische Notwendigkeiten sollten nicht als Verzichtleistungen definiert und kommuniziert werden, sondern als Chancen für den Einstieg in eine klimaverträgliche Weltgesellschaft. Das Leitbild der klimaverträglichen Gesellschaft (Low Carbon Society) ist kein Krisenszenario, sondern die Vision einer Befreiung von einem energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Pfad, der teuer, riskant und krisenhaft ist. Die Zukunft liegt in einem Pfad, der weniger Ressourcenkonflikte, mehr Sicherheit, mehr Umweltqualität und Zukunftschancen für unsere Kinder und Enkel verspricht und auf dem sich viele Gesellschaftsmitglieder als individuelle Transformationspioniere längst bewegen. Den politischen Führungseliten wird es erheblich leichter fallen, „große“ Kooperationsziele anzusteuern, wenn sie auf der nationalen Ebene durch zivilgesellschaftliche Mobilisierung und breit getragene, positive Zukunftsvi-

onen unterstützt werden. Der Mut der Politik, den gordischen Knoten der Klimapolitik zu durchschlagen, wird dann durch ihre Entlastung von der „Allzuständigkeit“ für die gesellschaftliche Transformation belohnt.



Der vom WBGU gezeichnete Transformationspfad mag in den Ohren von „Realisten“, die das Denken über die internationalen Beziehungen lange beherrscht haben, naiv und weltfremd klingen. Deshalb ist es angebracht, abschließend noch einmal in Erinnerung zu rufen, wohin der „vorherrschende Realismus“, das Weiter-so-wie-bisher, unweigerlich führen würde:

In einem solchen Szenario wachsen Volkswirtschaften und Verkehrssysteme auf Basis fossiler Energieträger mit entsprechend steigenden Treibhausgasemissionen global ungebremst weiter. Die 2°C-Leitplanke kann nicht eingehalten werden, was zunehmend deutliche, teure und teils sogar katastrophale Folgen des Klimawandels mit sich bringt. Gemeinsam mit der Verteuerung fossiler Energieträger beschleunigen diese Trends eine verspätete Umstellung auf „saubere“ Großtechnologien (Kohlenstoffscheidungs- und -speicherung, Ausbau der Kernkraftwerke) und andere Technologien (wie das Geoengineering, mit den damit verbundenen Risiken unkontrollierbarer Veränderungen des Erdsystems), deren Durchsetzung und Kontrolle verstärkte Sicherheitsaktivitäten der Staatsapparate nach sich ziehen.

Beispielsweise würde die Proliferation von nukleareffizienten Materialien die internationale Politik vor erhebliche Probleme stellen. Zugleich müssen Staaten und supranationale Regime den Katastrophenschutz massiv ausbauen, um gegen die zunehmenden Klimawirkungen gewappnet zu sein. Durch vermehrte extreme Wetterereignisse, fortschreitende Desertifikation und die Verknappung von Trinkwasser nehmen Versorgungs- und Ernährungskrisen weltweit zu. In vielen Staaten und Gesellschaften verschärfen sich hierdurch bereits bestehende Konflikte, während gleichzeitig neue Konflikte um die Verfügbarkeit der knapper werdenden fossilen Brennstoffe entstehen. Als Reaktion auf das Anwachsen innerstaatlicher sowie zwischenstaatlicher Flüchtlingsbewegungen setzt sich im „Norden“ der Trend einer zunehmend restriktiven Flüchtlings- und Migrationspolitik weiter fort. Die notwendigen Maßnahmen zur Vermeidung und Anpassung werden durch zuneh-

mend interventionistische Notstandsregime angeordnet und durchgesetzt. Die aus diesen Entwicklungen resultierenden Sicherheits- und Notstandsstaaten beschneiden die Freiheitsräume in liberalen Gesellschaften und führen, vermittelt über transnationale Regime, zu einer autoritären, undemokratischen Konsolidierung.

Doch dieses Szenario muss nicht Wirklichkeit werden, denn die Geschichte einer alternativen klimaverträglichen Weltpolitik hat längst begonnen. In diesem klimaverträglichen Szenario war nur ein kleiner, aber entscheidender Perspektivwechsel notwendig, nämlich den Klimawandel als Menschheitsherausforderung aus Sicht der am verwundbarsten Staaten bzw. Bevölkerungsgruppen zu betrachten: Beispielsweise bot Indonesien im Juni 2009 den Bewohnern der Solomon Inseln, die dem Anstieg des Meeresspiegels bald zum Opfer fallen könnten, Zuflucht an. Die Bedeutung dieser Entwicklung liegt darin, dass die Weltgemeinschaft die Perspektive eines kleinen Inselstaates, also eine kosmopolitische Empathie für das schwächste Glied einnimmt.

In den Augen der AOSIS-Staaten, einem Bündnis aus 43 kleinen Insel- und niedrig liegenden Küstenstaaten ist die Herausforderung offensichtlich: Der Rest der Welt, vor den Folgen gefährlichen Klimawandels nur scheinbar besser geschützt, muss akzeptieren, dass die globale Erwärmung die Menschheit als Ganzes bedroht, dass die Zeit zum Gegensteuern ausläuft und nur eine wahre Herkulesanstrengung die Existenzgrundlagen der gesamten Menschheit sichern kann. Dazu muss sie sich als globale Interessengemeinschaft zu verstehen beginnen und verhalten.



- Allen, M. R., Frame, D. J., Huntingford, C., Jones, C. D., Lowe, J. A., Meinshausen, M. und Meinshausen, N. (2009): Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature* 458, 1163–1166.
- Bauer, S. (2008): „Admit that the waters around you have grown“: Die Bedeutung des Klimawandels für die Vereinten Nationen. *Vereinte Nationen* 56 (1), 3–9.
- Bauer, S. und Richerzhagen, C. (2007): Nachholende Entwicklung und Klimawandel. *Aus Politik und Zeitgeschichte* 57 (47), 20–26.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2006): Die Hightech-Strategie für Deutschland. Bonn: BMBF.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte. Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Berlin: BMU.
- Bundesregierung (2007): Gemeinsame Erklärung zur Weiterentwicklung der strategischen und globalen Partnerschaft zwischen Deutschland und Indien. Berlin: Bundesregierung.
- Capoor, K. und Ambrosi, P. (2008): *State and Trends of the Carbon Market 2008*. Washington DC: World Bank.
- Cazenave, A., Dominh, K., Guinehut, S., Berthier, E., Llovel, W., Ramillien, G., Ablain, M. und Larnicol, G. (2008): Sea level budget over 2003–2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Global and Planetary Change* 65, 83–88.
- CDIAC – Carbon Dioxide Information Analysis Center (2009): Recent Greenhouse Gas Concentrations. Internet: [http://cdiac.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html) (gelesen am 11. Mai 2009). Oak Ridge, TN: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC).
- Chasek, P. S. (2001): *Earth Negotiations: Analyzing Thirty Years of Environmental Diplomacy*. Tokio: United Nations University Press.
- Checkel, J. T. (1997): *Ideas and International Political Change: Soviet/Russian Behavior and the End of the Cold War*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Church, J. A. und White, N. J. (2006): A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33, L01602.
- CNA Corporation (2007): *National Security and the Threat of Climate Change*. Washington, DC: CNA Corporation.
- Cooper, A. F. und Antkiewicz, A. (Hrsg.) (2008): *Emerging Powers in Global Governance. Lessons from the Heiligendamm Process*. Waterloo, ON: Wilfrid Laurier University Press.
- Debiel, T. (2009): Global Governance und Regional Governance. In: Debiel, T., Messner, D., Nuscheler, F., Roth, M. und Ulbert, C. (Hrsg.): *Globale Trends 2010. Frieden, Entwicklung, Umwelt*. Frankfurt/M.: Fischer.
- Delta Committee (2008): *Working Together With Water. A Living Land Builds for its Future*. Internet: [http://www.deltacommissie.com/doc/deltareport\\_full.pdf](http://www.deltacommissie.com/doc/deltareport_full.pdf) (gelesen am 11. Mai 2009). Niederlande: Deltacommissie.
- Depledge, J. (2005): *The Organization of Global Negotiations: Constructing the Climate Change Regime*. London: Earthscan.
- Domingues, C. M., Church, J. A., White, N. J., Gleckler, P. J., Wijffels, S. E., Barker, P. M. und Dunn, J. R. (2008): Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453, 1090–1094.
- EU-Kommission (2009): Ein umfassendes Klimaschutzüberkommen als Ziel für Kopenhagen. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. KOM(2009) 39 endgültig. Brüssel: EU-Kommission.
- Frey, B. S. und Stutzer, A. (2002): Prozessnutzen in der Demokratie. In: Reh binder, M. und Usteri, M. (Hrsg.): *Glück als Ziel der Rechtspolitik*. Bern: Stämpfli, 193–209.
- Global Humanitarian Forum (2009): *Human Impact Report: Climate Change – The Anatomy of a Silent Crisis*. Genf: Global Humanitarian Forum.
- Hoegh-Guldberg, O., Hoegh-Guldberg, H., Veron, J. E. N., Green, A., Gomez, E. D., Lough, J., King, M., Ambariyanto, Hansen, L., Cinner, J., Dews, G., Russ, G., Schuttenberg, H. Z., Peñaflores, E. L., Eakin, C. M., Christensen, T. R. L., Abbey, M., Areki, F., Kosaka, R. A., Tewfik, A. und Oliver, J. (2009): *The Coral Triangle and Climate Change: Ecosystems, People and Societies at Risk*. Brisbane: WWF Australia.
- Hoffmann, M. und Schellnhuber, H.-J. (2009): Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *PNAS* 106, 3017–3022.
- Homer-Dixon, T. (Hrsg.) (2009): *Carbon Shift. How the Twin Crisis of Oil Depletion and Climate Change Will Define the Future*. Mississauga, Ontario: Random House Canada.
- Houser, T., Mohan, S. und Heilmayr, R. (2009): *A Green Global Recovery? Assessing US Economic Stimulus and the Prospects for International Coordination*. Policy Brief Number PB09-3. Washington, DC: World Resources Institute (WRI), Peterson Institute for International Economics (PIIE).

- IEA – International Energy Agency (2007): World Energy Outlook 2007. China and India Insights. Paris: IEA.
- IEA – International Energy Agency (2008): World Energy Outlook 2008. Global Energy Trends. Paris: IEA.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2008): Nuclear Power Reactors in the World. Reference Data Series No. 2. Power Reactor Information System. Wien: IAEA.
- IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis (2009): GGI Scenario Database. Version 1.0.9. Internet: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ggi/GgiDb/dsd?Action=htmlpage&page=series> (gelesen am 16. Juli 2009). Laxenburg: IIASA.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2005): Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b): Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007c): Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007d): Climate Change 2007. The Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Jochem, E., Jaeger, C. C., Battaglini, A., Bradke, H., Cremer, C., Eichhammer, W., Förster, H., Haas, A., Henning, E., Idrissova, F., Kasper, B., Köhler, J., Köwener, D., Krause, J., Lass, W., Lilliestam, J., Mannsbart, W., Müller, M., Meißner, F., Pflüger, B., Radgen, P., Ragwitz, M., Rauschen, M., Reitze, F., Riffeser, L., Saure, K., Schade, W., Sensfuß, F., Toro, F., Walz, R. und Wietschel, M. (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Synthesebericht. Potsdam: PIK, European Climate Forum (ECF), FhI System- und Innovationsforschung, Swisscanto.
- Kammen, D., Kapadia, K. und Fripp, M. (2004): Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate? Report of the Renewable and Appropriate Energy Laboratory. University of California Berkeley.
- Kikkawa, T. (2009): Japan's Contribution to Cool Earth. Technical Report. Tokio: Graduate School of Commerce and Management Center for Japanese Business Studies, Hitotsubashi University.
- Kwok, R., Cunningham, G. F., Wensnahan, M., Rigor, I., Zwally, H. J. und Yi, D. (2009): Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008. *Journal of Geographical Research* 114, doi 10.1029/2009JC005312.
- Lamla, J. und Neckel, S. (Hrsg.) (2006): Politisierter Konsum – konsumierte Politik. Wiesbaden: VS Verlag.
- Le Queré, C. (2008): Global Carbon Budget. Internet: <http://lqmacweb.env.uea.ac.uk/lequere/co2/> (gelesen am 30. Juli 2009). East Anglia, Norwich: University of East Anglia.
- Lenton, T. M., Held, M., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H. J. (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(6), 1786–1793.
- Lockwood, M. und Fröhlich, C. (2007): Recent oppositely-directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. *Proceedings of the Royal Society A* 463, 2447–2460.
- Lockwood, M. und Fröhlich, C. (2008): Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. II. Different reconstructions of the total solar irradiance variation and dependence on response time scale. *Proceedings of the Royal Society A* 464, 1367–1385.
- Lorenzoni, I., Nicholson-Cole, S. und Whitmarsh, L. (2007): Barriers perceived to engaging with climate change among public and their policy implications. *Global Environmental Change* 17, 445–459.
- MA – Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-Being. Washington, DC: Island Press.
- McKinsey (2009a): Wettbewerbsfaktor Energie. Neue Chancen für die deutsche Wirtschaft. Düsseldorf: McKinsey & Company Deutschland.
- McKinsey (2009b): Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. London: McKinsey & Company.
- McKinsey (2009c): China's Green Revolution. Prioritizing Technologies to Achieve Energy and Environmental Sustainability. London: McKinsey & Company.
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J. und Allen, M. R. (2009): Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458, 1158–1162.
- Molina, M., Madhava Sarmab, K., Zaelke, D., Andersend, S. O. und Kaniarue, D. (2009): Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other fast regulatory actions to complement cuts in CO<sub>2</sub> emissions. *PNAS* (eingereicht).
- Müller, H. (2008): Wie kann eine neue Weltordnung aussehen? Wege in eine nachhaltige Politik. Frankfurt/M.: Fischer.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration (2009): NASA GISS Website. Internet: <http://www.giss.nasa.gov> (gelesen am 9. Juli 2009). Washington, DC: NASA.
- NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio (2009): Sea Ice Yearly Minimum 1979–2007. Internet: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003400/a003464/index.html> (gelesen am 20. Juli 2009). Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center.
- Newman, E., Thakur, R. und Tirman, J. (Hrsg.) (2006): Multilateralism Under Challenge? Power, International Order, and Structural Change. Tokio: United Nations University.
- Nobel Cause Symposium (2007): Potsdam-Memorandum: Eine Globale Zielvereinbarung für die Große Transformation. Zusammenfassung der Hauptschlussfolgerungen des Symposiums „Global Sustainability: A Nobel Cause“ in Potsdam vom 8. bis 10. Oktober 2007. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Nuscheler, F. und Messner, D. (2009): Wandel von weltpolitischen Kräftekonstellationen und Machtordnungen. In: Debiel, T., Messner, D., Nuscheler, F., Roth, M. und Ulbert,

- C. (Hrsg.): *Globale Trends 2010. Frieden, Entwicklung, Umwelt*. Frankfurt/M.: Fischer.
- Ott, H. E., Sterk, W. und Watanabe, R. (2008): The Bali Roadmap: new horizons for global climate policy. *Climate Policy* 8 (1), 91–95.
- Pierson, P. (2004): *Politics in time – History, Institutions and Social Analysis*. Princeton: University Press.
- Polanyi, K. (1944): *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of our Time*. Boston: Beacon Press.
- Pollin, R., Garrett-Peltier, H., Heintz, J. und Scharber, H. (2008): *Green Recovery. A Program to Create Good Jobs and Start Building a Low-Carbon Economy*. Center for American Progress, Political Economy Research Institute (PERI), University of Massachusetts-Amherst.
- Rahmstorf, S. (2007): A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315, 368–370.
- Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J. A., Hansen, J. E., Keeling, R. F., Parker, D. E. und Somerville, R. C. J. (2007): Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709.
- Rawls, J. (1971): *A Theory of Justice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2009): *Renewables Global Status Report: 2009 Update*. Paris: REN21 Sekretariat.
- Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H. J., Alcamo, J., Barker, T., Kammen, D. M., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Osman-Elasha, B., Stern, N. und Waever, O. (2009): *Synthesis Report Climate Change. Global Risks, Challenges and Decisions*. Climate Congress Copenhagen, 10. bis 12. März 2009. Kopenhagen: Universität Kopenhagen.
- Rogelj, J., Hare, B., Nabel, J., Macey, K., Schaeffer, M., Markmann, K. und Meinshausen, M. (2009): Halfway to Copenhagen, no way to 2°C. Internet: <http://www.nature.com/climate/2009/0907/full/climate.2009.57.html> (gelesen am 03. Juli 2009). *Nature Reports Climate Change online*.
- Rogers, E. M. (2003): *Diffusion of innovations*. New York: Free Press.
- Schechter, M. G. (2005): *United Nations Global Conferences*. New York: Routledge.
- Schellnhuber, H. J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T. M. L. und Yohe, G. W. (Hrsg.) (2006): *Avoiding Dangerous Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Schneider, L. (2007): *Is the CDM Fulfilling its Environmental and Sustainable Development Objectives? An Evaluation of the CDM and Options for Improvement*. Freiburg: Öko-Institut.
- Scholz, I. (2009): Klimawandel und mögliche Anpassungsmaßnahmen. In: Debiel, T., Messner, D., Nuscheler, F., Roth, M. und Ulbert, C. (Hrsg.): *Globale Trends 2010. Frieden, Entwicklung, Umwelt*. Frankfurt/M.: Fischer.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. und Friedlingstein, P. (2009): Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *PNAS* 106, 1704–1709.
- St. James's Palace Nobelpreisträgersymposium (2009): *St. James's Palace Memorandum. Action for a Low Carbon and Equitable Future*. London: University of Cambridge Programme for Sustainability Leadership.
- Stern, N. (2006): *Stern Review: The Economics of Climate Change. Part I–III*. London: HM Treasury.
- Stroeve, J., Holland, M. M., Meier, W., Scambos, T. und Serreze, M. (2007): Arctic sea ice decline: faster than forecast. *Geophysical Research Letters* 34, L09501.
- Sukhdev, P. (2008): *The Economics of Ecosystems & Biodiversity. An Interim Report*. Brüssel: European Communities.
- Tsebelis, G. (2002): *Veto Players. How Political Institutions Work*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (1992): *Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations (UN).
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2007): *Investment and Financial Flows to Address Climate Change. Background Paper*. Bonn: UNFCCC Sekretariat.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2008): *Investment and Financial Flows to Address Climate Change: An Update. Technical Paper*. Bonn: UNFCCC Sekretariat.
- U.S. Census Bureau (2009): *United States Census 2010*. Internet: <http://www.census.gov> (gelesen am 24. Juni 2009). Washington, DC: U.S. Department of Commerce.
- Velders, G. J. M., Fahey, D. W., Daniel, J. S., McFarland, M. und Andersen, S. O. (2009): The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing. *PNAS* early edition, doi 10.1073/pnas.0902817106.
- Victor, D. G. (2007): *Fragmented carbon markets and reluctant nations: implications for the design of effective architectures*. In: Aldy, J. E. und Stavins, R. N. (Hrsg.): *Architectures for Agreement: Addressing Global Climate Change in the Post-Kyoto World*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 133–160.
- Wallack, J. S. und Ramanathan, R. (2009): *Strategies for Hedging Against Rapid Climate Change*. Foreign Affairs (akzeptiert).
- Warner, K., Ehrhart, C., de Sherbinin, A., Adamo, S. und Chai-Onn, T. (2009): *In Search of Shelter. Mapping the Effects of Climate Change on Human Migration and Displacement*. Washington, DC: UNU.
- Wassmund, H. (1993): *Die gescheiterte Utopie. Aufstieg und Fall der UdSSR*. München: Beck.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1995): *Szenario zur Ableitung globaler CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Stellungnahme zur ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin. Sondergutachten 1995*. Berlin: WBGU.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1997): *Welt im Wandel – Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (1998): *Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz? Sondergutachten 1998*. Bremerhaven: WBGU.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1999): *Welt im Wandel –*

Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2002): Entgelte für die Nutzung globaler Gemeinschaftsgüter. Sondergutachten 2002. Berlin: WBGU.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2003a): Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2003b): Über Kioto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Sondergutachten 2003. Berlin: WBGU.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten 2006. Berlin: WBGU.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2008): Welt im Wandel: Sicherheitsrisiko Klimawandel. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2009): Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin: WBGU.

WHO – World Health Organisation (2008): Protecting Health from Climate Change – World Health Day 2008. Genf: WHO.

WRI-CAIT – World Resources Institute – Climate Analysis Indicators Tool (2009): Version 6.0. Internet: <http://cait.wri.org/> (gelesen am 3. Juni 2009). Washington, DC: WRI.

# **Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)**

Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung.  
Berlin: WBGU © 2009, 388 Seiten, ISBN 978-3-936191-21-9.

Welt im Wandel: Sicherheitsrisiko Klimawandel.  
Berlin: Springer © 2008, 268 Seiten, ISBN 978-3-540-73247-1.

Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten 2006.  
Berlin: WBGU © 2006, 114 Seiten, ISBN 3-936191-13-1.

Welt im Wandel: Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik. Hauptgutachten 2005.  
Berlin: Springer © 2001, 223 Seiten, ISBN 3-540-24987-7.

Über Kioto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Sondergutachten 2003.  
Berlin: WBGU © 2003, 87 Seiten, ISBN 3-936191-03-4.

Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Hauptgutachten 2003.  
Berlin: Springer © 2003, 254 Seiten, ISBN 3-540-40160-1.

Entgelte für die Nutzung globaler Gemeinschaftsgüter. Sondergutachten 2002.  
Berlin: WBGU © 2002, 52 Seiten, ISBN 3-9807589-7-4.

Welt im Wandel: Neue Strukturen globaler Umweltpolitik. Hauptgutachten 2000.  
Berlin: Springer © 2001, 223 Seiten, ISBN 3-540-41343-X.

Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Hauptgutachten 1999.  
Berlin: Springer © 2000, 482 Seiten, ISBN 3-540-67106-4.

Welt im Wandel: Umwelt und Ethik. Sondergutachten 1999.  
Marburg: Metropolis-Verlag © 1999, 149 Seiten, ISBN 3-89518-265-6.

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Hauptgutachten 1998.  
Berlin: Springer © 1999, 350 Seiten, ISBN 3-540-65605-7.

Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Hauptgutachten 1997.  
Berlin: Springer © 1998, 419 Seiten, ISBN 3-540-63656-0.

Ziele für den Klimaschutz 1997. Stellungnahme zur dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kyoto. Bremerhaven: WBGU © 1997.

Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft. Hauptgutachten 1996.  
Berlin: Springer © 1996, 201 Seiten, ISBN 3-540-61661-6.

Welt im Wandel: Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme. Hauptgutachten 1995.  
Berlin: Springer © 1996, 247 Seiten, ISBN 3-540-60397-2.

Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Hauptgutachten 1994.  
Bonn: Economica © 1994, 278 Seiten, ISBN 3-87081-334-2.

Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Hauptgutachten 1993.  
Bonn: Economica © 1993, 224 Seiten, ISBN 3-87081-373-3.

**Alle WBGU-Gutachten stehen auf der Internetseite <http://www.wbgu.de> zum Download zur Verfügung.**