

Welt im Wandel



Wissenschaftlicher Beirat
der Bundesregierung
Globale
Umweltveränderungen

Energiewende zur Nachhaltigkeit

Zusammenfassung
für Entscheidungsträger



Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

(Stand: 21. März 2003)

Professor Dr. Hartmut Graßl, Vorsitzender
Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Professor Dr. Dr. Juliane Kokott, stellvertretende Vorsitzende
Direktorin am Institut für Europäisches und Internationales Wirtschaftsrecht, Universität St. Gallen

Professor Dr. Margareta E. Kulessa
Professorin für Allgemeine Volkswirtschaftslehre und Europäische Wirtschaftspolitik an der Fachhochschule Mainz

Professor Dr. Joachim Luther
Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme in Freiburg

Professor Dr. Franz Nuscheler
Direktor des Instituts für Entwicklung und Frieden in Duisburg

Professor Dr. Dr. Rainer Sauerborn
Ärztlicher Direktor der Abteilung für Tropenhygiene und Öffentliches Gesundheitswesen am Universitätsklinikum Heidelberg

Professor Dr. Hans-Joachim Schellnhuber
Direktor des britischen Wissenschaftsnetzwerks zum Klimawandel (Tyndall Centre) in Norwich (UK)

Professor Dr. Renate Schubert
Direktorin des Instituts für Wirtschaftsforschung der ETH Zürich

Professor Dr. Ernst-Detlef Schulze
Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena



**Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen**

Zusammenfassung für Entscheidungsträger

Welt im Wandel:

**Energiewende
zur Nachhaltigkeit**

Das vollständige Gutachten ist im Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
im Sommer 2003 erhältlich (ISBN 3-540-40160-1).

ISBN 3-936191-01-8

Impressum:

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
Geschäftsstelle
Reichpietschufer 60-62
10785 Berlin

Tel.: 030 263948 0
Fax: 030 263948 50
Email: wbgu@wbgu.de
Homepage: <http://www.wbgu.de>

Diese Zusammenfassung ist im Internet in deutscher und englischer Sprache abrufbar.

Satz: WBGU

Redaktionsschluss: 31.03.2003

© 2003, WBGU

Zusammenfassung für Entscheidungsträger

Im ersten Teil dieser Zusammenfassung für Entscheidungsträger werden knapp die wesentlichen Probleme der bestehenden Energiesysteme dargestellt, im zweiten Teil wird die Frage beantwortet, welchen Kriterien eine Energiewende genügen muss, um als „nachhaltig“ zu gelten. Der dritte Teil beschreibt auf der Grundlage eines exemplarischen Szenarios einen möglichen Pfad für die Transformation des globalen Energiesystems im 21. Jahrhundert, die durch eine kraftvolle Wende in der Energiepolitik in den nächsten Jahrzehnten eingeleitet werden muss. Darauf aufbauend wird im vierten Teil ein möglicher Fahrplan mit konkreten Zielen und politischen Handlungsoptionen für die globale Energiewende vorgeschlagen.

1

Warum eine globale Energiewende erforderlich ist

Der WBGU zeigt, dass eine globale Energiewende unerlässlich ist, um die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit zu schützen und die Energiearmut in den Entwicklungsländern zu beseitigen. Nur durch einen grundlegenden Umbau der Energiesysteme lässt sich eine nichtnachhaltige Entwicklung wieder in nachhaltige Bahnen lenken. Eine globale Energiewende hätte nicht zuletzt auch friedensfördernde Wirkungen, da sie die Abhängigkeit von den regional konzentrierten Ölreserven senkt.

1.1

Die Nutzung fossiler Energieträger gefährdet natürliche Lebensgrundlagen

Die weltweite Energienutzung beruht heute zu 80% auf fossilen Energieträgern, mit steigender Tendenz. Bei ihrer Verbrennung gelangen Emissionen in die Umwelt, wo sie Klimaveränderungen, Luftverschmutzung und Krankheiten beim Menschen hervorrufen. Ihre Wirkung können Emissionen lokal (Grobstaub, Benzol, Ruß), regional (Aerosolpartikel, kurzlebige Gase) oder global (langlebige Treib-

hausgase) entfalten. Der globale Klimaschutz ist die überragende Herausforderung, die eine Energiewende dringend erforderlich macht.

Die Emission langlebiger Treibhausgase, vor allem Kohlendioxid, aber auch Methan und Lachgas, trug in den vergangenen 100 Jahren wesentlich zu einer Erhöhung der mittleren Lufttemperatur in Oberflächennähe um 0,6 °C bei. Für die nächsten 100 Jahre prognostiziert der Zwischenstaatliche Ausschuss über Klimaänderungen (IPCC) eine Temperaturerhöhung zwischen 1,4 und 5,8 °C, je nach dem Verhalten der Menschheit und ohne Berücksichtigung von Klimaschutzmaßnahmen. Der WBGU hält eine mittlere globale Temperaturänderung von mehr als 2 °C gegenüber dem Wert vor der Industrialisierung für intolerabel. Durch die vorausgesagte Verschiebung der Klimaregionen sowie durch häufigere Wetterextreme wie Überschwemmungen und Dürren können die natürlichen Lebensgrundlagen von Millionen Menschen erheblich beeinträchtigt werden. Besonders bedroht sind die Entwicklungsländer. Bei empfindlichen Ökosystemen sind die Schäden schon jetzt nachweisbar. Das Risiko einer irreversiblen Schädigung von Ökosystemen nimmt mit zunehmender Erwärmung und steigender Erwärmungsrate zu.

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen neben Kohlendioxid auch Benzol- und Rußemissionen, die zahlreiche schädigende Wirkungen auf Gesundheit und Ökosysteme haben, sowie Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid, die die Bildung von bodennahem Ozon fördern und die Reinigungskraft der Atmosphäre verringern. Stick- und Schwefeloxide sowie Ammoniak werden in der Atmosphäre chemisch umgewandelt und durch „Saurer Regen“ in die Böden eingetragen. Das heutige Energiesystem schädigt also auf vielfältige Weise die natürliche Umwelt, gefährdet die Gesundheit und beeinflusst massiv biogeochemische Kreisläufe.

1.2**Fehlender Zugang zu modernen Energieformen ist ein Problem für rund 2 Milliarden Menschen**

Die Verbesserung des Zugangs zu moderner Energie in den Entwicklungsländern ist ein grundlegender Beitrag zur Armutsbekämpfung und entscheidend für das Erreichen der Entwicklungsziele der UN-Millenniumserklärung. Die Energieversorgung von rund 2,4 Mrd. Menschen hängt, insbesondere in ländlichen Gebieten Asiens und Afrikas, überwiegend oder vollständig von der Nutzung von Biomasse (Brennholz, Holzkohle oder Dung) zum Kochen und Heizen ab. In den Entwicklungsländern werden durchschnittlich 35% der Energie aus Biomasse gewonnen, in Teilen Afrikas erreicht dieser Anteil bis zu 90%. An den Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Kohle in Innenräumen sterben laut WHO 1,6 Mio. Menschen jährlich, deutlich mehr als die 1 Mio. Malariaopfer. Eine Energiewende ist daher auch zur Überwindung der Entwicklungsprobleme unverzichtbar.

2**Der Korridor nachhaltiger Energiepolitik: Die Leitplanken für eine globale Energiewende**

Nachhaltige Transformationspfade werden durch so genannte „Leitplanken“ begrenzt. Der WBGU definiert mit diesen Leitplanken jene Schadensgrenzen, deren Verletzung so schwerwiegende Folgen mit sich brächte, dass auch kurzfristige Nutzensvorteile diese Schäden nicht ausgleichen könnten (Kasten 1). Beispielsweise würde eine zu späte Umsteuerung im Energiesektor zugunsten kurzfristiger wirtschaftlicher Vorteile die globale Erwärmung so weit vorantreiben, dass durch die zu erwartenden wirtschaftlichen und sozialen Verwerfungen die Kosten des Nicht-Handelns langfristig deutlich höher wären. Leitplanken sind keine Ziele: Es handelt sich nicht um anzustrebende Werte oder Zustände, sondern um Minimalanforderungen, die im Sinn der Nachhaltigkeit erfüllt werden müssen.

3**Die nachhaltige Energiewende ist machbar: Testlauf für die Transformation der Energiesysteme**

Szenarien für die Energiezukunft können an den beschriebenen Leitplanken auf Nachhaltigkeit getestet werden. Prinzipiell sind viele Entwicklungen denkbar, die die gegenwärtigen weltweiten Energie-

systeme nachhaltig umgestalten würden. Insofern ist das in diesem Gutachten entworfene Szenario als ein Beispiel zu verstehen (Abb. 1). Ausgehend von Szenarien zur Stabilisierung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf maximal 450 ppm wird gezeigt, dass die globale Energiewende grundsätzlich in den kommenden 100 Jahren technisch und wirtschaftlich möglich ist.

Der exemplarische Pfad des WBGU hat vier zentrale Bestandteile:

1. Starke Minderung der Nutzung fossiler Energieträger;
2. Auslaufen der Nutzung nuklearer Energieträger;
3. Erheblicher Auf- und Ausbau neuer erneuerbarer Energieträger, insbesondere der Solarenergie;
4. Steigerung der Energieproduktivität weit über historische Raten hinaus.

Aus der Analyse dieses Pfades ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Weltweite Kooperation und Angleichung der Lebensbedingungen erleichtern eine schnelle Technologieentwicklung und -verbreitung. Hohes Wirtschaftswachstum kann dann in Verbindung mit einer starken Erhöhung der Energieproduktivität zu einer nachhaltigen Energieversorgung führen.
- Nur mit verbindlichen CO₂-Reduktionsvorgaben können Minimalanforderungen an den Klimaschutz erfüllt werden.
- Flankierend zur Energiepolitik sind auch Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasen in anderen Sektoren (in der Landwirtschaft z. B. von Lachgas und Methan) sowie zum Schutz natürlicher Kohlenstoffvorräte notwendig.
- Auch wenn hier ein beispielhafter Pfad auf der Basis einer Stabilisierung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf 450 ppm entwickelt wurde, bedeutet dies aufgrund der Unsicherheiten des Klimaverhaltens keineswegs, dass dieses Stabilisierungsniveau als sicher gelten kann. Der WBGU empfiehlt, Optionen für niedrigere Stabilisierungskonzentrationen offen zu halten.
- Ein fossil-nuklearer Pfad ist selbst unter Einhaltung der Klimaschutzziele mit wesentlich größeren, für den WBGU intolerablen Risiken sowie mit weitaus höheren Umweltbelastungen verbunden. Zudem ist er mittel- und langfristig vor allem wegen der CO₂-Sequestrierungskosten deutlich teurer als ein Pfad, der auf regenerative Energieträger und Steigerung der Energieeffizienz setzt.
- Wegen der langen Vorlaufzeiten stellen die nächsten 10–20 Jahre das entscheidende Zeitfenster für den Umbau der Energiesysteme dar. Sollte der Umbau erst später eingeleitet werden, ist mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu rechnen.

Kasten 1

Leitplanken nachhaltiger Energiepolitik

Ökologische Leitplanken

KLIMASCHUTZ

Eine Temperaturänderungsrate über 0,2 °C pro Jahrzehnt und eine mittlere globale Temperaturänderung über 2 °C gegenüber dem Wert vor der Industrialisierung sind intolerable Werte einer globalen Klimaänderung.

NACHHALTIGE FLÄCHENNUTZUNG

10–20% der weltweiten Landfläche sollten dem Naturschutz vorbehalten bleiben. Nicht mehr als 3% sollten für den Anbau von Bioenergiepflanzen bzw. für terrestrische CO₂-Speicherung genutzt werden. Dabei ist eine Umwandlung natürlicher Ökosysteme zum Anbau von Bioenergieträgern grundsätzlich abzulehnen. Bei Nutzungskonflikten muss die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung Vorrang haben.

SCHUTZ VON FLÜSSEN UND IHREN EINZUGSGEBIETEN

Wie bei den Landflächen, so sollten auch etwa 10–20% der Flussökosysteme inklusive ihrer Einzugsgebiete dem Naturschutz vorbehalten sein. Dies ist ein Grund dafür, warum die Wasserkraft – nach Erfüllung der notwendigen Rahmenbedingungen (Investitionen in Forschung, Institutionen, Kapazitätsaufbau usw.) – nur in Grenzen ausgebaut werden kann.

SCHUTZ DER MEERESÖKOSYSTEME

Der WBGU hält die Nutzung des Ozeans zur Kohlenstoffspeicherung nicht für tolerierbar, weil die ökologischen Schäden groß sein könnten und das Wissen über die biologischen Folgen zu lückenhaft ist.

SCHUTZ DER ATMOSPHÄRE VOR LUFTVERSCHMUTZUNG

Kritische Belastungen durch Luftschadstoffe sind nicht tolerierbar. Als erste Orientierung für eine quantitative Leitplanke kann festgelegt werden, dass die Belastungen nirgendwo höher sein dürfen, als sie heute in der EU sind, auch wenn dort die Situation noch nicht bei allen Schadstoffen zufrieden stellend ist. Eine endgültige Leitplanke muss durch nationale Umweltstandards und multilaterale Umweltabkommen definiert und umgesetzt werden.

Sozioökonomische Leitplanken

ZUGANG ZU MODERNER ENERGIE FÜR ALLE MENSCHEN

Der Zugang zu moderner Energie sollte für alle Menschen gewährleistet sein. Dazu muss der Zugang zu Elektrizität sichergestellt und die Nutzung gesundheitsschädigender Biomasse durch moderne Brennstoffe ersetzt werden.

DECKUNG DES INDIVIDUELLEN MINDESTBEDARFS AN MODERNER ENERGIE

Der WBGU erachtet folgende Endenergiemengen als Minimum für den elementaren individuellen Bedarf: Spätestens ab 2020 sollten alle Menschen wenigstens 500 kWh pro Kopf und Jahr an Endenergie und spätestens ab 2050 wenigstens 700 kWh zur Verfügung haben. Bis 2100 sollte der Wert auf 1.000 kWh steigen.

BEGRENZUNG DES ANTEILS DER ENERGIEAUSGABEN AM EINKOMMEN

Arme Haushalte sollten maximal ein Zehntel ihres Einkommens zur Deckung des elementaren individuellen Energiebedarfs ausgeben müssen.

GESAMTWIRTSCHAFTLICHER MINDESTENTWICKLUNGSBEDARF

Zur Deckung des gesamtwirtschaftliche Mindestenergiebedarf pro Kopf (für indirekt genutzte Energiedienstleistungen) sollte allen Ländern mindestens ein Bruttoinlandsprodukt pro Kopf von etwa 3.000 US-\$₁₉₉₉ zur Verfügung stehen.

RISIKEN IM NORMALBEREICH HALTEN

Ein nachhaltiges Energiesystem sollte auf Technologien beruhen, deren Betrieb im „Normalbereich“ der Umwelt Risiken liegt. Die Kernenergie kollidiert mit diesen Anforderungen insbesondere durch intolerable Unfallrisiken und ungeklärte Abfallentsorgung sowie wegen der Risiken durch Proliferation und Terrorismus.

ERKRANKUNGEN DURCH ENERGIENUTZUNG VERMEIDEN

Die lokale Luftverschmutzung in Innenräumen durch Verbrennung von Biomasse und in Städten durch Nutzung fossiler Energieträger verursacht weltweit schwere Gesundheitsschäden. Die hierdurch verursachte Gesundheitsbelastung sollte in allen WHO-Regionen jeweils 0,5% der gesamten Gesundheitsbelastung der Region (gemessen in DALYs, disability adjusted life years) nicht überschreiten.

- Die Energiewende gelingt nur dann, wenn ein verstärkter Kapital- und Technologietransfer von den Industrie- in die Entwicklungsländer stattfindet. Zunächst müssen die Industrieländer die Technologieentwicklung bei der Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energiequellen deutlich verstärken, etwa durch Steigerung und Umlenkung der Forschungs- und Entwicklungsausgaben, Markteinführungsstrategien, Preisreize und den Aufbau geeigneter Infrastruktur. Dadurch können die zunächst noch hohen Kosten der neuen Technologien reduziert und es kann schneller Marktreife erreicht werden, was wiederum den Transfer in die Entwicklungsländer erleichtert.
- Kurz- und mittelfristig müssen diejenigen erneuerbaren Energiequellen zügig erschlossen wer-

den, die heute technisch beherrschbar und relativ preiswert sind. Das sind insbesondere Windkraft und Biomassenutzung, in engen Grenzen auch die Wasserkraft. Langfristig kann der steigende Primärenergiebedarf nur durch eine entschiedene Sonnenenergienutzung gedeckt werden, die mit weitem Abstand das größte nachhaltige Potenzial besitzt. Dieses Potenzial kann nur dann rechtzeitig erschlossen werden, wenn eine Verzehnfachung der installierten Leistung pro Dekade schon jetzt und auch langfristig sichergestellt wird.

- Die Nutzung fossiler Energieträger, die auch in den nächsten Jahrzehnten weiter notwendig sein wird, muss möglichst so erfolgen, dass Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden und Infrastrukturen und Kraftwerkstechnologien leicht auf erneu-

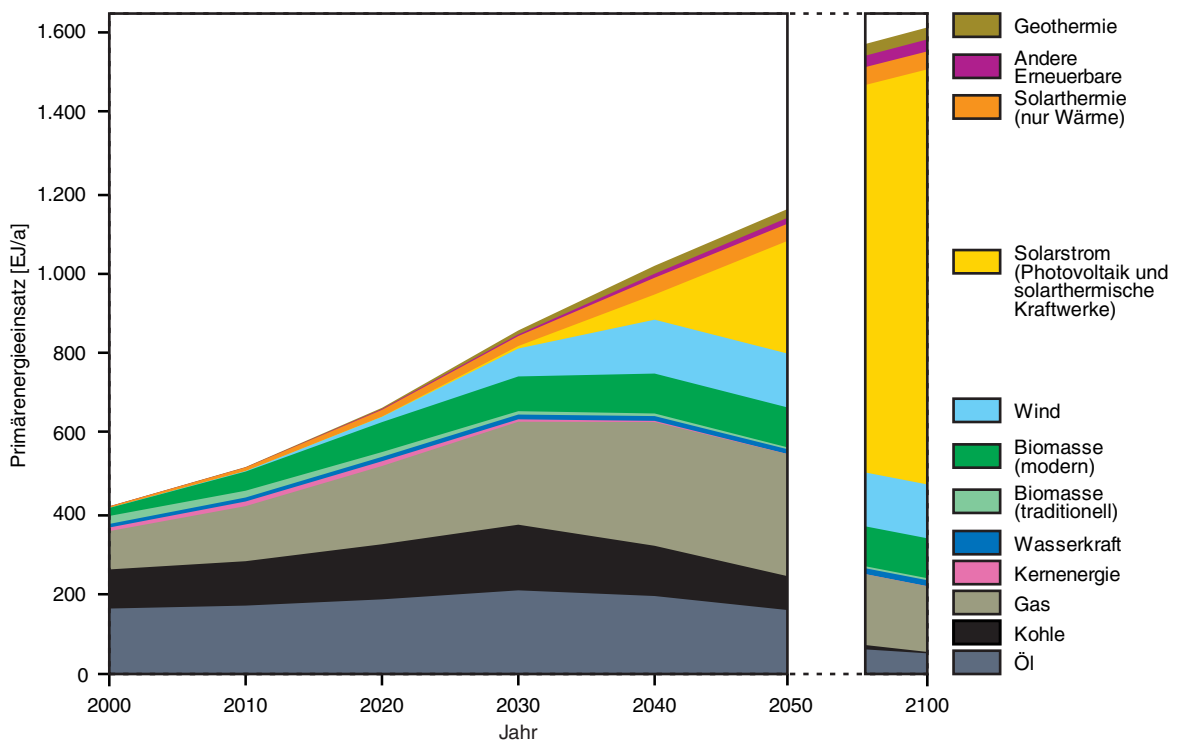


Abbildung 1
Die Veränderung des globalen Energiemix im exemplarischen Pfad bis 2050/2100.
Quelle: WBGU

erbaare Energieträger umgerüstet werden können. Besonders die effiziente Nutzung von Gas etwa bei der Kraft-Wärme-Kopplung und in Brennstoffzellen kann eine wichtige Brückenfunktion hin zu einer Wasserstoffwirtschaft darstellen.

- Auch eine maßvolle Speicherung von Kohlendioxid in geeigneten geologischen Formationen (z. B. ausgeförderten Öl- und Gaskavernen) wird zur Einhaltung der Klimaleitplanken als Übergangstechnologie in diesem Jahrhundert notwendig sein. Die Nutzung des Ozeans zur Kohlenstoffspeicherung lehnt der WBGU aus ökologischen Gründen ab.

trielländer bedeutet dies eine Reduktion um etwa 80%, während die Entwicklungs- und Schwellenländer ihre Emissionen um maximal 30% steigern dürfen. Da ohne Energiewende in den Entwicklungs- und Schwellenländern für den gleichen Zeitraum eher eine Verdopplung bis Vervielfachung der Emissionen erwartet werden kann, ist auch in diesen Ländern ein rasches Umschwenken bei Energieerzeugung und -nutzung notwendig. Der Schwerpunkt sollte dabei auf erneuerbare Energien *und* Effizienzmaßnahmen gelegt werden. Wegen der beträchtlichen Unsicherheit, z. B. auch über das Verhalten des Klimas, sind die angegebenen Reduktionsziele als Mindestvorgaben zu bewerten.

4 Stationen des WBGU-Transformationsfahrplans: politische Zielgrößen, Zeitpläne und Maßnahmen

4.1 Natürliche Lebensgrundlagen schützen

Um die globale Erwärmung in erträglichen Grenzen zu halten, müssen die Kohlendioxidemissionen bis 2050 gegenüber 1990 weltweit um mindestens 30% reduziert werden (Überblick: Abb. 2). Für die Indus-

4.1.1 Energieproduktivität erhöhen

Um den Ressourcenverbrauch zu minimieren, sollte die globale Energieproduktivität (Bruttoinlandsprodukt pro Energieeinsatz) jährlich zunächst um 1,4% und möglichst bald um mindestens 1,6% gesteigert werden. Dies entspräche einer Verdreifachung der Energieproduktivität bis 2050 gegenüber 1990. Bis 2050 sollten zudem bei großen, fossil betriebenen Kraftwerken Mindestwirkungsgrade von über 60%

angestrebt werden. Dazu empfiehlt der WBGU,

- ab 2005 die stufenweise Etablierung internationaler Standards für Mindestwirkungsgrade fossil betriebener Kraftwerke, nach dem Vorbild der entsprechenden EU- Richtlinie.
- bis 2012 20% des Stroms in der EU durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zu erzeugen. Insbesondere ist das Potenzial verteilter Erzeugung zu nutzen. Dazu sollte sich die Bundesregierung innerhalb der EU für die zügige Festlegung verbindlicher nationaler Zielquoten einsetzen.
- ökologische Finanzreformen als wesentliche Instrumente zur Schaffung von Anreizen für mehr Effizienz einzuleiten. Dazu gehören Maßnahmen zur Internalisierung externer Kosten (z. B. CO₂-Steuer, Zertifikatehandel) und der Abbau von Subventionen für fossile und nukleare Energieträger.
- die Endverbraucher besser zu informieren, um die Energieeffizienz zu steigern, z. B. durch Kennzeichnungspflichten für alle energieintensiven Güter, Gebäude und Dienstleistungen. Bei Gütern, die international gehandelt werden, ist eine länderübergreifende Harmonisierung von Effizienzstandards und Labels empfehlenswert.
- die großen Effizienzpotenziale in der Nutzung der Heiz- und Kühlungsenergie durch ordnungsrechtliche Regelungen bezüglich des Primärenergiebedarfs von Gebäuden auszuschöpfen.
- Markteinführungsstrategien (z. B. zeitlich begrenzte Subventionen, Einspeisevergütungen, Quotenmodelle) fortzusetzen und auszubauen. Bis ein nennenswertes Marktvolumen erreicht wird, zählen Einspeisevergütungen mit einer zeitlichen Degression der Vergütungssätze zu den besonders sinnvollen Optionen. Wenn ein ausreichend großes Marktvolumen einzelner Energieträger erreicht ist, sollte die Förderung in ein System handelbarer Quoten und gegebenenfalls von Green Energy Certificates überführt werden.
- das Energiesystem für den großskaligen Einsatz fluktuierender erneuerbarer Quellen zu ertüchtigen. Dazu zählen insbesondere eine leistungsfähigere Netzregelung, angepasste Regelungsstrategien für verteilte Energieerzeuger, die Ertüchtigung der Netze für eine starke Durchdringung mit verteilten Energieerzeugern sowie ihr Ausbau bis hin zu internationalen Energietransportstrukturen („Global Link“). Später sollte der Aufbau einer Infrastruktur für Wasserstoffspeicherung und -verteilung unter Nutzung von Erdgas als Brückentechnologie erfolgen.
- die Verbreitung und Weiterentwicklung der Technologien des solaren und energieeffizienten Bauens entschieden zu fördern.
- personelle und institutionelle Kapazitäten in den Entwicklungsländern aufzubauen und zu stärken sowie den Technologietransfer zu intensivieren, um damit die Rahmenbedingungen für den Aufbau nachhaltiger Energiesysteme zu verbessern.
- ab 2005 in der Exportkreditförderung progressive Mindestauflagen für die zulässige Kohlenstoffintensität bei Energieerzeugungsprojekten festzulegen.

4.1.2

Erneuerbare Energien erheblich ausbauen

Der Anteil der erneuerbaren Energien am globalen Energiemix sollte bis 2020 von derzeit 12,7% auf 20% erhöht werden, mit dem langfristigen Ziel, bis 2050 über 50% zu erreichen. Ökologische Finanzreformen werden zu einer Verteuerung fossiler und nuklearer Energieträger führen und damit deren Anteil am globalen Energiemix zurückdrängen. Der Anteil erneuerbarer Energien wird folglich ansteigen. Da dieser Anstieg jedoch deutlich unter der angestrebten Erhöhung auf 20% bzw. 50% liegen wird, empfiehlt der WBGU einen aktiven Ausbau erneuerbarer Energien. Empfohlen wird insbesondere,

- dass sich die Länder auf nationale Quoten einigen. Um die Kosten zu minimieren, sollte bis 2030 ein weltweites System international handelbarer Quoten angestrebt werden. In solch einem flexiblen System sollte allerdings jedes Land verpflichtet werden, einen wesentlichen Teil seiner Quote im Rahmen der einheimischen Energiegewinnung zu erfüllen.

4.1.3

Aus der Kernkraft aussteigen

Es sollten keine neuen Kernkraftwerke mehr genehmigt und bis 2050 weltweit die Nutzung der Kernkraft beendet werden. Dazu empfiehlt der WBGU

- internationale Verhandlungen für den Ausstieg aus der Nutzung der Kernkraft anzustreben. Der Beginn könnte eine Statutenänderung der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) sein.
- bis 2005 die Etablierung neuer, schärferer IAEA-Sicherheitsstandards für alle Lagerstätten von Nuklearmaterialien sowie erweiterte Kontroll- und Maßnahmenkompetenz der IAEA bei Sicherheitsbestimmungen im Bereich Terrorismus und Proliferation.

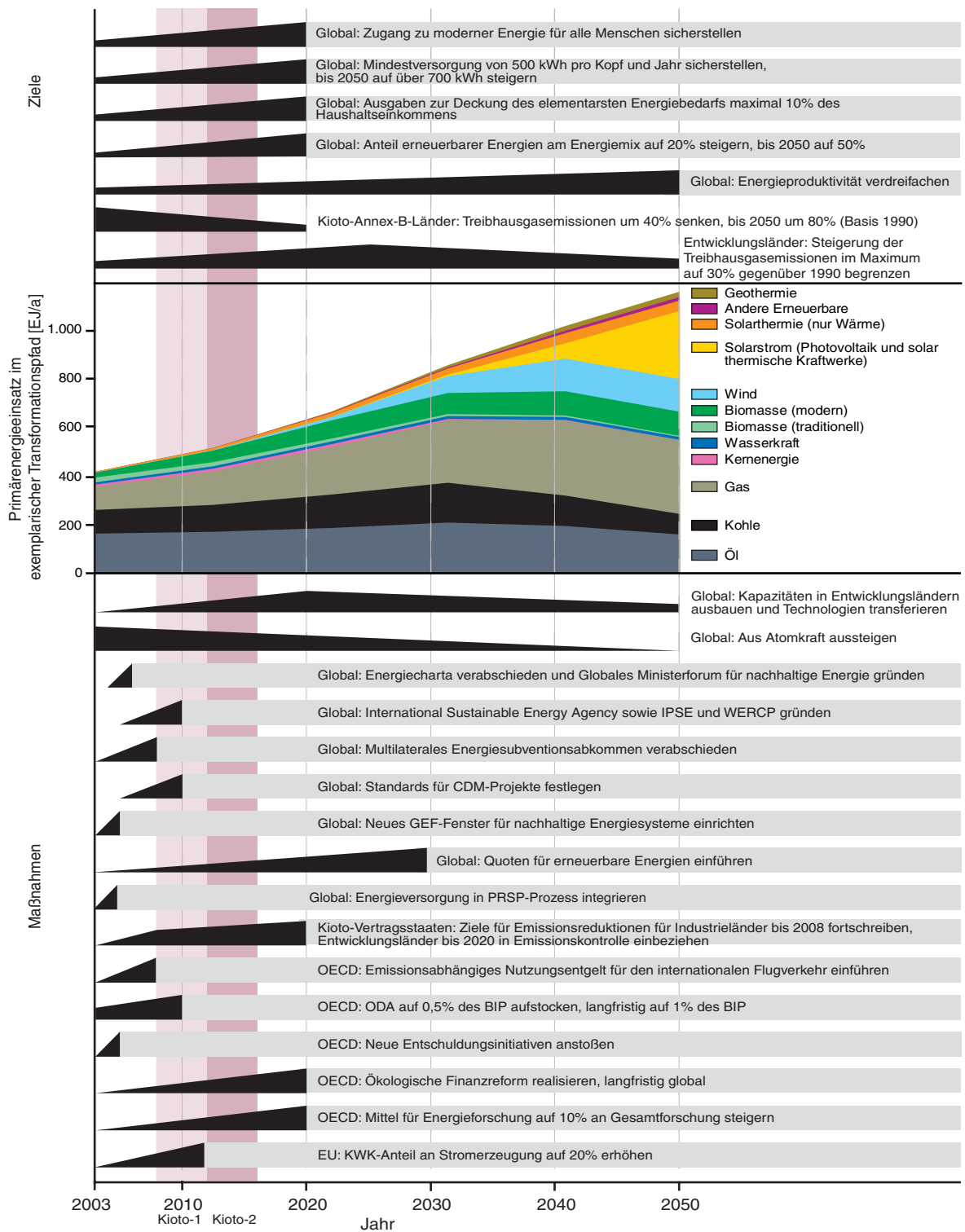


Abbildung 2
 Der WBGU-Transformationsfahrplan im Überblick. BIP=Bruttoinlandsprodukt, CDM=Clean Development Mechanism, GEF=Globale Umweltfazilität, IPSE=Intergovernmental Panel on Sustainable Energy, KWK=Kraft-Wärme-Kopplung, ODA=Official Development Assistance, OECD=Organisation for Economic Co-operation and Development, PRSP=Poverty Reduction Strategy Papers, WERCP=World Energy Research Coordination Programme
 Quelle: WBGU

4.2

Energiearmut weltweit beseitigen und globale Mindestversorgung anstreben

Der Zugang zu moderner Energie ist ein wichtiges Element von Armutbekämpfung und Entwicklung. Daher empfiehlt der WBGU als international zu vereinbarendes Ziel, dass der Zugang zu moderner Energie ab 2020 für die gesamte Weltbevölkerung gesichert wird und alle Menschen ab diesem Zeitpunkt mindestens 500 kWh pro Kopf und Jahr zur Deckung des elementaren Bedarfs an Endenergie zur Verfügung haben (Abb. 2). Bei allen Maßnahmen zur Transformation der Energiesysteme ist dabei auf eine Verringerung der sozioökonomischen Disparitäten zu achten. Der Anteil für Energieausgaben am Haushaltseinkommen sollte 10% nicht übersteigen.

Der Zugang zu moderner Energie ist auch ein zentraler Beitrag zur Erfüllung der in der UN-Millenniumserklärung vereinbarten Entwicklungsziele.

4.2.1

Internationale Zusammenarbeit auf nachhaltige Entwicklung ausrichten

NEUE WELTBANKPOLITIK IN FÖRDERPRAXIS UMSETZEN

Die Weltbank, die die Länder beim Ausbau ihrer Energiesysteme unterstützt, sollte sich nach Ansicht des WBGU auch als Förderbank für nachhaltige Energie verstehen, um damit das Überspringen nichtnachhaltiger Entwicklungsstufen zu erleichtern. Die Weltbank hat bei der Förderung der Energiewende den Schritt von der konzeptionellen zur operativen Ebene noch nicht ausreichend vollzogen. Dringend erforderlich ist daher die Umsteuerung ihrer Förderpraxis, die bisher nach dem Least-Cost-Prinzip vorwiegend fossile Energieträger finanziert. Der WBGU empfiehlt

- ab sofort die Umsetzung der neuen Förderkonzeption der Weltbank in die Praxis. Dafür sollte sich die Bundesregierung im Rahmen ihrer Mitgliedschaft im Verwaltungsrat der Weltbank einsetzen.

NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG IN

ARMUTSBEKÄMPFUNGSTRATEGIEN INTEGRIEREN
IWF und Weltbank begannen Ende 1999 ihre Politik gegenüber den am wenigsten entwickelten Ländern vorwiegend auf Armutsbekämpfung auszurichten. Die „Poverty Reduction Strategy Papers“ (PRSP) sollen als Steuerungsinstrumente für die mittelfris-

tige Entwicklung der Länder dienen sowie Grundlage für die Einwerbung internationaler Unterstützung sein. Der WBGU empfiehlt,

- die nachhaltige Energieversorgung in die PRSP zu integrieren, um sicherzustellen, dass das Thema Energie in der Entwicklungszusammenarbeit einen größeren Stellenwert erhält.

ROLLE DER REGIONALEN ENTWICKLUNGSBANKEN STÄRKEN

Die Rolle der regionalen Entwicklungsbanken sollte gestärkt werden. Diese verfügen über eine gute regionale Verankerung und stehen den Problemen vor Ort näher als globale Institutionen. Der WBGU empfiehlt, dass

- sich Deutschland im Rahmen seiner Beteiligung an diesen Banken und im Rahmen der EU für die Förderung der Energieversorgung in den am wenigsten entwickelten Ländern durch die regionalen Entwicklungsfonds einsetzt;
- die EU den Europäischen Entwicklungsfonds gezielt zur Förderung erneuerbarer Energieträger in den Afrika-Karibik-Pazifik-Staaten (AKP-Staaten) einsetzt.

4.2.2

Handlungsfähigkeit der Entwicklungsländer stärken

WIRTSCHAFTLICHE UND SOZIALE ENTWICKLUNG IN DEN NIEDRIGEINKOMMENSLÄNDERN FÖRDERN

Für die Energiewende ist ein Mindestmaß wirtschaftlicher Entwicklung Voraussetzung. In vielen Ländern wird das hierfür erforderliche Pro-Kopf-Einkommen bei weitem nicht erreicht. Daher empfiehlt der WBGU, die Entwicklungszusammenarbeit nicht allein im Bereich der Basisdienstleistungen und nachhaltiger Energieversorgung zu verstärken, sondern die Zusammenarbeit speziell mit Niedrigeinkommensländern quantitativ und qualitativ zu intensivieren. Zudem sollte im Rahmen der „Entwicklungsrunde“ der WTO auf verbesserte Zugangsmöglichkeiten für Güter aus allen Niedrigeinkommensländern zu den Märkten in Industrie- und Schwellenländern gedrängt werden.

NEUE ENTSCULDUNGSINITIATIVEN ANSTOSSEN

In der Regel haben hoch verschuldete Entwicklungsländer nur geringe Spielräume, um Preisschwankungen auf den Weltenergiemärkten zu verkraften, Effizienzverbesserungen ihrer Energieversorgung zu finanzieren und die Anwendung erneuerbarer Energietechnologien voranzutreiben. Um die Transformation durchzuführen, bedarf es weit reichender Schuldenregulierungen. Der WBGU empfiehlt, dass

- sich die Bundesregierung im Rahmen der G7/G8 für neue Entschuldungsinitiativen einsetzt.

4.2.3

Regulatorische und privatwirtschaftliche Elemente kombinieren

Die Verbesserungen des Zugangs zu modernen Energieformen mit geringen Emissionen sowie zu erneuerbaren Energien und eine Erhöhung der Effizienz der Energienutzung in Entwicklungs-, Schwellen- und Transformationsländern sind durch Maßnahmen auf der Angebots- und der Nachfrageseite zu erreichen.

ANGEBOTSSEITE: LIBERALISIERUNG UND PRIVATISIERUNG MIT REGULATORISCHEN EINGRIFFEN KOMBINIEREN

Auf der Angebotsseite sind Privatisierung und Liberalisierung mit regulatorischen Eingriffen des Staats zu kombinieren. Je nach den spezifischen Gegebenheiten einer Region wird der Mix dieser drei Bereiche unterschiedlich ausfallen müssen. Im Fall von Liberalisierung und Privatisierung sind attraktive Rahmenbedingungen für private Investoren und die Erschließung internationaler Kapitalquellen erforderlich. Im Fall eines stärkeren Engagements durch den Staat ist die Festlegung von Standards ebenso wichtig wie ein Ausbau von Public-Private Partnerships, möglichst unterstützt durch bilaterale und multilaterale Entwicklungszusammenarbeit.

NACHFRAGESEITE: KAUFKRAFT VON ARMUTSGRUPPEN ERHÖHEN

Auf der Nachfrageseite muss es darum gehen, die Kaufkraft insbesondere von Armutsgruppen im Bereich Energie zu erhöhen. Dies kann durch zielgruppenspezifische Subventionen ebenso erfolgen wie durch einen Ausbau von Mikrofinanzierungssystemen. Um nicht nur die Kaufkraft, sondern auch die Bereitschaft zu erhöhen, Energie nachhaltiger zu nutzen als bisher, ist bei Maßnahmen auf der Nachfrageseite kultur- und geschlechtsspezifischen Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen.

4.3

Finanzmittel für die globale Energiewende mobilisieren

Für die Finanzierung der globalen Energiewende sollten unverzüglich zusätzliche Finanzmittel mobilisiert und neue Transfermechanismen geschaffen bzw. bestehende gestärkt werden, um wirtschaftlich schwächere Länder bei der Transformation ihrer

Energiesysteme zu unterstützen. Der WBGU begrüßt das von der deutschen Bundesregierung auf dem Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung angekündigte Programm „Nachhaltige Energie für Entwicklung“ zum Aufbau strategischer Partnerschaften. Dafür werden in den nächsten fünf Jahren insgesamt 1 Mrd. € bereitgestellt.

PRIVATES KAPITAL MOBILISIEREN

Um privates Kapital für die globale Energiewende zu mobilisieren, empfiehlt der WBGU,

- im Rahmen von „Public-Private Partnerships“ kleinen und mittelständischen Anbietern erneuerbarer Energietechnologien den Zugang zu den Märkten in den Entwicklungsländern zu erleichtern;
- bis 2010 einen deutschen und wenn möglich EU-Standard für den Clean Development Mechanism zu schaffen. Dieser Standard sollte bis auf zu begründende Ausnahmen nur Projekte zur Förderung regenerativer Energien (mit Ausnahme großer Staudämme wegen derzeit ungelöster Nachhaltigkeitsprobleme), zur Steigerung der Energieeffizienz bestehender Anlagen oder zum nachfrageseitigen Management zulassen.

MITTEL FÜR DIE

ENTWICKLUNGSZUSAMMENARBEIT ERHÖHEN

Mit 0,27% am BIP im Jahr 2001 sind die deutschen Mittel für Entwicklungszusammenarbeit weit vom international vereinbarten, aber völkerrechtlich unverbindlichen 0,7%-Ziel entfernt. Deutschland hat sich allerdings dazu verpflichtet, die Mittel für die öffentliche Entwicklungszusammenarbeit (ODA) bis 2006 auf 0,33% des BIP zu erhöhen. Dem Problemdruck angemessen wäre sogar eine Steigerung der Beiträge auf rund 1% des BIP. Der WBGU empfiehlt

- nachdrücklich eine Aufstockung der ODA-Mittel über die bis 2006 angekündigten 0,33% hinaus und schlägt vor, als ersten Schritt bis 2010 mindestens 0,5% des BIP aufzuwenden.

INNOVATIVE FINANZIERUNGSMITTEL NUTZEN

Ohne die Erschließung neuer Finanzierungsquellen ist die globale Energiewende nicht umsetzbar. Die Potenziale, die sich aus der Erhebung von Entgelten für die Nutzung globaler Gemeinschaftsgüter ergeben, sollten geprüft werden. Der WBGU empfiehlt,

- ab 2008 ein emissionsabhängiges Nutzungsentgelt für den internationalen Flugverkehr zu erheben, soweit dieser bis dahin nicht internationalen Reduktionsverpflichtungen unterworfen ist.

Globale Umweltfazilität als Internationale Finanzierungsinstitution stärken

Die gemeinsam von UNDP, UNEP und Weltbank betriebene Globale Umweltfazilität (GEF) sollte als Katalysator für Maßnahmen zum globalen Umweltschutz genutzt werden. Der WBGU empfiehlt,

- bis 2005 die finanzielle Förderung von Effizienztechnologien und erneuerbarer Energien in einem neu zu schaffenden Fenster der GEF zu bündeln („Fenster für nachhaltige Energiesysteme“). Um bei der Mittelverwendung auch verstärkt entwicklungspolitische Aspekte berücksichtigen zu können, sollte eine Vereinfachung der Anwendung des Incremental-Costs-Ansatzes erwogen werden. Mit Blick auf den hohen Finanzbedarf zur Förderung der globalen Energiewende sind die Mittel der GEF beträchtlich aufzustocken.

4.4

Modellprojekte als strategischen Hebel nutzen und Energiepartnerschaften eingehen

MODELLPROJEKTE MIT SIGNALWIRKUNG INITIIEREN

Der WBGU plädiert dafür, Modellprojekte in großem Maßstab zur Einführung neuer erneuerbarer Energien als strategischen Hebel für eine globale Energiewende einzusetzen. Von solchen Modellprojekten könnte eine weltweite Signalwirkung ausgehen. Sie würden veranschaulichen, wie Technologiesprünge in Energieprojekten umgesetzt werden können. Der WBGU empfiehlt, folgende Modellprojekte zu initiieren:

- Strategische Energiepartnerschaft zwischen EU und Nordafrika, um Potenziale der Sonnenenergienutzung für beide Seiten Gewinn bringend in die europäische Stromversorgung einzubinden;
- Entwicklung der Infrastruktur zur Substitution traditioneller Biomassenutzung durch biogenes Flaschengas;
- Energieeffiziente Gebäude im Niedrigkostensektor am Beispiel südafrikanischer Townships;
- Verbesserung der Stromqualität in schwachen Elektrizitätsnetzen ländlicher afrikanischer Regionen;
- „1-Million-Hütten-Elektrifizierungsprogramm“ für Entwicklungsländer zum Erzeugen der notwendigen Eigendynamik bei netzferner ländlicher Elektrifizierung.

STRATEGISCHE PARTNERSCHAFTEN FÜR DIE ENERGIEWENDE SCHMIEDEN

Bestehende oder im Aufbau befindliche politische Initiativen zur Förderung einer globalen Energie-

wende geben einen Handlungsrahmen vor. Der WBGU empfiehlt, dass neben der 2004 stattfindenden Weltkonferenz für Erneuerbare Energien insbesondere die folgenden Politikprozesse als Katalysatoren für die Förderung einer globalen Energiewende genutzt werden:

- Die auf dem Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung beschlossene internationale Initiative
 - „Energy Initiative for Poverty Eradication and Sustainable Development“,
 - „Global Village Energy Partnership“,
 - „Global Network on Energy for Sustainable Development“.
- Das derzeit verhandelte Wirtschaftspartnerschaftsabkommen der EU mit den AKP-Staaten.

4.5

Forschung und Entwicklung vorantreiben

Die Energiewende ist eine große technologische wie gesellschaftliche Herausforderung, die in ihrer Größenordnung mit einer neuen industriellen Revolution vergleichbar ist. Sie kann nur gelingen, wenn erheblicher Forschungs- und Entwicklungsaufwand betrieben wird. Dies betrifft die erneuerbaren Energieträger, die Infrastruktur, die Technik zur effizienteren Energieverwendung sowie die Bereitstellung des Wissens über Erhalt und Erweiterung von natürlichen Kohlenstoffvorräten und Senken. Die Sozialwissenschaften sind aufgefordert, die individuellen und institutionellen Barrieren des Umbaus zu erforschen sowie Strategien ihrer Überwindung zu entwickeln.

Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung im Energiebereich sind jedoch seit Jahren rückläufig. Im Energiebereich werden derzeit in der OECD nur etwa 0,5% des Umsatzes für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben aufgewendet, mit sinkender Tendenz. Nur bei dauerhaft hohen Investitionen in den Forschungs- und Entwicklungsbereich besteht eine Chance, dass Technologien für erneuerbare Energieträger und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz mittel- und langfristige einen hohen Verbreitungsgrad bei niedrigen Kosten finden. Der WBGU empfiehlt, dass

- in den Industrieländern bis 2020 die direkten staatlichen Ausgaben für Forschung und Entwicklung im Energiebereich von etwa 1,3 Mrd. US-\$ pro Jahr (Mittelwert OECD 1990–1995) vor allem durch Umschichtungen mindestens verzehnfacht werden. Der inhaltliche Schwerpunkt sollte dabei rasch von fossiler und nuklearer Energie auf erneuerbare Energien und Effizienzmaßnahmen verlagert werden.

- im UN-System ein „World Energy Research Coordination Programme“ (WERCP) zur Bündelung nationaler Energieforschungsaktivitäten analog zum Weltklimaforschungsprogramm gegründet wird.

4.6

Institutionen globaler Energiepolitik bündeln und stärken

KOORDINATIONSGREMIUM GRÜNDEN UND WELTENERGIECHARTA AUSHANDELN

Die Förderung einer globalen Energiewende erfordert ein koordiniertes Vorgehen auf globaler Ebene und damit die Bündelung internationaler Institutionen und Akteure. Der WBGU empfiehlt, das Institutionengefüge globaler Energiepolitik schrittweise und aufbauend auf bestehenden Organisationen zu stärken und zu erweitern:

- Zunächst sollte auf der geplanten Weltkonferenz für Erneuerbare Energien in Deutschland 2004 eine Weltenergiecharta ausgehandelt werden. Diese sollte die wesentlichen Elemente einer nachhaltigen, globalen Energiepolitik enthalten und den relevanten Akteuren auf globaler Ebene als gemeinsame Handlungsgrundlage dienen.
- Zudem sollte auf dieser Konferenz ein „Globales Ministerforum für Nachhaltige Energie“ beschlossen, besser noch eingerichtet werden, dem die Koordination und Ausrichtung der relevanten Akteure und Programme unterstünde.
- Parallel dazu sollte bis 2008 ein Multilaterales Energiesubventionsabkommen (MESA) ausgehandelt werden. In diesem Abkommen könnten der stufenweise Abbau der Subventionen für fossile und nukleare Energieträger sowie Regeln für die Subventionierung erneuerbarer Energien und effizienterer Energietechnologien vereinbart werden.
- Außerdem sollten sich zumindest die OECD-Staaten zu nationalen Quoten für erneuerbare Energien von wenigstens 20% bis 2015 verpflichten. Verhandlungen über eine Globalisierung und Flexibilisierung des Systems sollten vereinbart und spätestens bis 2030 in ein weltweites System handelbarer Quoten münden.
- Ergänzend dazu sollte eine Gruppe gleich gesinnter fortschrittlicher Staaten als Vorreiter auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energiepolitik auftreten. Für eine solche Führungsrolle käme die EU in Frage.
- Darauf aufbauend sollten die institutionellen Grundlagen einer nachhaltigen Energiepolitik durch die Bündelung von Kompetenzen auf globaler Ebene weiter gestärkt werden. Zu diesem

Zweck sollte die Rolle des Energieministerforums ausgeweitet werden.

- Auf Grundlage der bis dahin gemachten Erfahrungen sollte bis etwa 2010 die Gründung einer „Globalen Agentur für nachhaltige Energie“ („International Sustainable Energy Agency“ – ISEA) geprüft werden.

POLITIKBERATUNG INTERNATIONAL VERBESSERN

Die politische Umsetzung einer globalen Energiewende sollte – so wie die Klimaschutzpolitik – durch unabhängige wissenschaftliche Analysen kontinuierlich begleitet werden. Dazu empfiehlt der WBGU

- die Einrichtung eines „Intergovernmental Panel on Sustainable Energy (IPSE)“ zur Analyse und Bewertung globaler Energietrends und Aufzeigen von Handlungsoptionen.

5

Fazit: Politische Gestaltungsaufgabe jetzt wahrnehmen

Die Transformation der Energiesysteme ist dringend erforderlich, um die Lebensgrundlagen zu schützen und die Energiearmut zu überwinden. Sie ist ohne gravierende negative Eingriffe in die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Systeme umsetzbar, wenn die Politik die Chance zur Gestaltung dieses Prozesses in den kommenden beiden Jahrzehnten nutzt. Die beabsichtigten Effekte sind erst mit einem gewissen Zeitabstand zu erwarten. Diese Verzögerung macht rasches Handeln umso wichtiger. Die Kosten des Nicht-Handelns wären langfristig deutlich höher als die Einleitung der Energiewende. Mit jeder Verzögerung wird eine Umsteuerung immer schwieriger.

Die Richtung der Energiewende steht fest: Es muss sowohl die Energieeffizienz bei der Nutzung fossiler Energieträger gesteigert als auch der Einstieg in die Nutzung erneuerbarer Energien massiv gefördert werden. Dabei kommt es besonders darauf an, die Pfadabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu verringern. Langfristiges Ziel sollte die Anbahnung eines Solarzeitalters sein.

Die Energiewende ist nach Ansicht des WBGU machbar. Sie ist auch finanzierbar, wenn neben der verstärkten Nutzung bestehender Mechanismen (z. B. GEF, ODA, Kredite von Weltbank und regionalen Entwicklungsbanken) sowie verbesserter Anreize für private Investoren (z. B. Public-Private Partnerships) auch die Diskussion um innovative Wege der Finanzierung (z. B. Nutzungsentgelte für globale Gemeinschaftsgüter) vorangetrieben wird. Das vorliegende WBGU-Gutachten zeigt die wesentlichen Steuerungsmöglichkeiten einer solchen

globalen Energiewende im Rahmen eines Transformationsfahrplans auf.

Die weltweite Transformation der Energiesysteme wird nur gelingen, wenn sie schrittweise und dynamisch gestaltet wird, denn niemand kann heute die technischen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen der nächsten 50–100 Jahre hinreichend genau prognostizieren. Langfristige Energiepolitik ist daher auch ein Suchprozess. Diese Herausforderung aufzugreifen ist Aufgabe der Politik. Die vom deutschen Bundeskanzler auf dem „Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung“ in Johannesburg angekündigte „Weltkonferenz für Erneuerbare Energien“ bietet eine hervorragende Gelegenheit zum Handeln.

Veröffentlichungen des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)

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

Die Chance von Johannesburg: Eckpunkte einer Verhandlungsstrategie. WBGU Politikpapier 1.
Berlin: WBGU © 2001, 24 Seiten. ISBN 3-9807589-5-8.

Welt im Wandel: Neue Strukturen globaler Umweltpolitik. Hauptgutachten 2000.
Berlin: Springer © 2001, 223 Seiten, € 49,95. ISBN 3-540-41343-X.

Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Hauptgutachten 1999.
Berlin: Springer © 2000, 482 Seiten, € 74,95. ISBN 3-540-67106-4.

Welt im Wandel: Umwelt und Ethik. Sondergutachten 1999.
Marburg: Metropolis-Verlag © 1999, 149 Seiten, € 14,80. ISBN 3-89518-265-6.

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Hauptgutachten 1998.
Berlin: Springer © 1999, 350 Seiten, € 69,95. ISBN 3-540-65605-7.

Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag
für den globalen Umweltschutz? Sondergutachten 1998. Bremerhaven: WBGU © 1998, 76 Seiten.
ISBN 3-9806309-0-0

Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Hauptgutachten 1997.
Berlin: Springer © 1998, 419 Seiten, € 84,95. ISBN 3-540-63656-0.

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

Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft. Hauptgutachten 1996.
Berlin: Springer © 1996, 201 Seiten, € 54,95. ISBN 3-540-61661-6.

Welt im Wandel: Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme. Hauptgutachten 1995.
Berlin: Springer © 1996, 247 Seiten, € 49,95. ISBN 3-540-60397-2.

Szenario zur Ableitung globaler CO₂-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Stellungnahme
zur ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin. Bremerhaven:
WBGU © 1995. Vergriffen.

Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Hauptgutachten 1994.
Bonn: Economica © 1994, 278 Seiten, € 42,95. ISBN 3-87081-334-2.

Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Hauptgutachten 1993.
Bonn: Economica © 1993, 224 Seiten, € 34,75. ISBN 3-87081-373-3.

Alle WBGU-Gutachten können von der Internetwebsite <http://www.wbgu.de> herunter geladen werden.

ISBN 3-936191-01-8