

Energiepolitik in globaler Verantwortung

Die Auseinandersetzung mit den Klimaskeptikern ist vorerst entschieden: Gegen die Hypothese, der Anstieg der Kohlendioxid-(CO₂-)Konzentration in der Atmosphäre sei hauptsächlich vom Menschen verursacht, konnten bislang keine stichhaltigen Gegenargumente vorgebracht werden¹. Die Debatte der Zukunft wird nicht mehr von den Klimaskeptikern bestimmt werden, sondern von der Frage beherrscht sein, wie groß die Schäden des Klimawandels sein werden und was angesichts des Klimawandels getan werden soll.

Die These, Klimaschutzpolitik schade der Wirtschaft, hat jüngst Björn Lomborg in seinem spektakulären Buch „Apokalypse No“ wiederholt und effektiv populärisiert². Die intellektuellen und politischen Geschütze, mit denen diese These verteidigt wird, haben eine andere Durchschlagskraft als die der Klimaskeptiker – dies vor allem deshalb, weil diese These den einflußreichen Teil der internationalen Wirtschaftspublizistik auf ihrer Seite hat. So hat die britische Wochenzeitschrift „The Economist“ Lomborg gegen die Angriffe namhafter Naturwissenschaftler³ verteidigt, die ihm wissenschaftliches Fehlverhalten vorgeworfen haben, weil er die Schäden der globalen Erwärmung verharmlose und andere globale Umweltprobleme wie Wasserknappheit und Verlust der Biodiversität auf wissenschaftlich nicht nachvollziehbare Weise leugne. Bei der Abwägung von Schäden und Kosten der globalen Erwärmung gehe es nicht in erster Linie um eine naturwissenschaftliche Frage, sondern um eine ökonomische⁴: Ist eine Klimaschutzpolitik, die auf einen Umbau des Energiesystems setzt, nicht viel zu teuer und sollte man das Geld nicht besser in die Bekämpfung der weltweiten Armut investieren?

Wer diese Fragen verneinen will, wird seine Argumente vor allem in dieser ökonomischen Auseinandersetzung stählen müssen. Der Herausgeber des Economist, Bill Emmott, hat in seinem jüngst erschienenen Buch über globale Strategien für das 21. Jahrhundert erneut davor gewarnt, zuviel in den Klimaschutz zu investieren. Es könnten zuviele Mittel gebunden werden, die im Kampf gegen Armut und Terrorismus dringend benötigt würden⁵.

Die Diskussion um den richtigen Weg in der globalen Klima- und Energiepolitik ist auch in den USA – von der europäischen Öffentlichkeit fast unbemerkt – in vollem Gang. So diskutieren vor allem US-amerikanische Forscher neue Klimaschutzoptionen, zum Beispiel die Aufforstung von Wäldern, die Düngung des Ozeans mit Eisen oder die Verklappung von CO₂ im tiefen Ozean. Von diesen Optionen verspricht sich vor allem die Bush-Administration viel und zeigt damit,

daß sie das Klimaproblem auf ihre Weise ernst nimmt. Die europäische Diskussion wird diese strategischen Weichenstellungen wahrnehmen müssen, wenn sie nicht überrollt werden will.

Klimapolitische Optionen

Um die verschiedenen Optionen einordnen und bewerten zu können, bedarf es eines Gesamtbildes. Welche strategischen Optionen hat die Menschheit, sich der Herausforderung des Klimawandels zu stellen (siehe Abb. 1)?

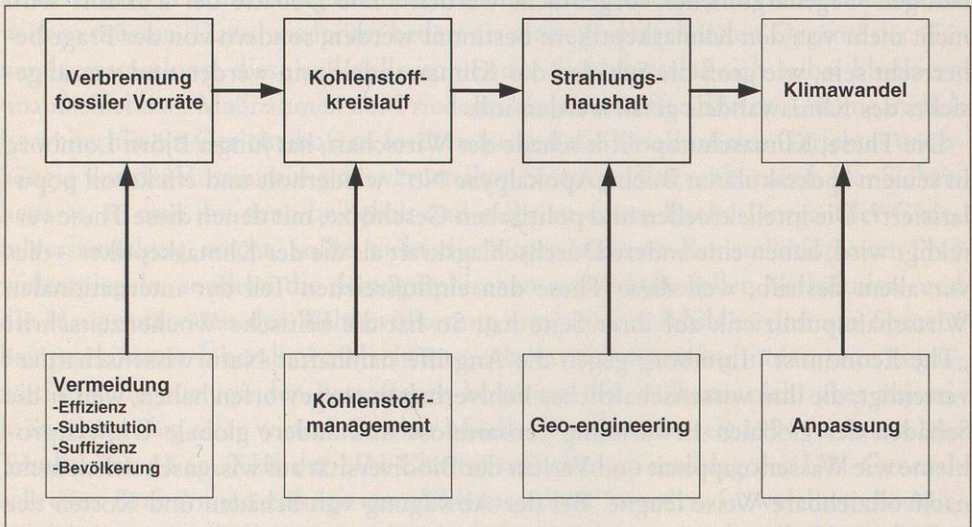


Abb. 1: Die Optionen der Menschheit, dem drohenden Klimawandel zu begegnen. Die horizontalen Pfeile bezeichnen die Wirkungskette, die vertikalen Pfeile die Eingriffsmöglichkeiten.

Vermeidungsstrategien. Die CO_2 -Emissionen können einerseits dadurch vermindert werden, daß die Effizienz der Nutzung von Kohle, Gas oder Öl erhöht wird. Andererseits können die fossilen Energieträger durch erneuerbare Energieträger (Wind, Biomasse, Sonnenenergie) oder Kernenergie ersetzt werden. In der europäischen Diskussion stand und steht vor allem die Effizienz- und Substitutionsoption im Vordergrund. So hat sich die Bundesregierung auf dem UN-Gipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg vom 26. August bis zum 4. September 2002 für die Förderung erneuerbarer Energieträger stark gemacht. Umstritten ist die Rolle der Kernenergie, die diese beim Umbau des Energiesystems spielen soll.

Wie immer man die Rolle der Kernenergie in den OECD-Staaten einschätzen mag: Es ist ausgeschlossen, daß sie global eine entscheidende Rolle in den nächsten Dekaden spielen kann. Derzeit beträgt der Anteil der Nuklearenergie am weltwei-

ten Primärenergieverbrauch gerade fünf Prozent. Angesichts der staatlichen und institutionellen Sicherheitsanforderungen, derer sie bedarf, ist es nicht wahrscheinlich, daß sehr viele Staaten außerhalb der OECD sie anwenden können oder sollten. Aber auch innerhalb der OECD ist die Kernenergie gegenüber den fossilen Energieträgern nicht konkurrenzfähig. Daher soll weiter unten geprüft werden, ob die weltweite Energieversorgung auch ohne weiteren Ausbau der Kernenergie möglich ist. Erst wenn sich zeigen sollte, daß es ohne Kernenergie keinen Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem gibt, wäre der Rückgriff auf diese Variante verantwortbar.

Sowohl die Effizienz- als auch die Substitutionsoption sind energiepolitische Optionen. Der Verzicht auf Wirtschaftswachstum (Suffizienzoption) und die Verminderung des Bevölkerungswachstums hingegen greifen weit über das Feld der Energiepolitik hinaus und sollen daher nicht weiter diskutiert werden. Es kann jedoch gezeigt werden, daß eine weitere Verminderung des Bevölkerungswachstums keine sonderlich effiziente Klimaschutzpolitik darstellen würde. Die Entwicklungs- und Schwellenländer werden es zurecht als zynisch empfinden, wenn man ausgerechnet ihnen einen Verzicht auf das Wachstum ihrer Wirtschaft zumuten würde⁶.

Kohlenstoffmanagement. Gerade in den Vereinigten Staaten werden heute vermehrt die Möglichkeiten eines Industriellen Kohlenstoffmanagements (IKM) diskutiert. Hier soll das CO₂ an Kohlekraftwerken zunächst eingefangen („Capturing“) werden, um es anschließend in ausgeförderten Erdgas- oder Erdölfeldern zu lagern („Sequestration“). Da 50 Prozent der Emissionen in den Industriestaaten von Kraftwerken („Punktquellen“) emittiert werden, erscheint diese Option vielversprechend. Diskutiert wird auch die Option, das CO₂ zum Beispiel in flüssigem oder superkritischem Zustand in den Ozean einzuleiten. Die Speicherwirkung nimmt um so stärker zu, je tiefer injiziert wird; mit der Injektionstiefe steigen aber auch die Kosten. Modellrechnungen behaupten, daß bei einer Injektion in 3000 Metern Tiefe nach 100 Jahren noch 97 Prozent des CO₂ gespeichert bleiben, nach 500 Jahren noch 48 Prozent bis 82 Prozent⁷. Die Verklappung von CO₂ im Ozean könnte jedoch die biologische Pumpe beeinträchtigen: Verantwortlich hierfür ist vor allem an der Oberfläche des Ozeans lebendes Phytoplankton, das CO₂ bindet und durch verschiedene natürliche Mechanismen in den tiefen Ozean „verfrachtet“ wird. Gerät verklapptes CO₂ an die Oberfläche des Ozeans, sinkt der pH-Wert, was die Produktion von Kalkschalen durch Phytoplankton ebenso vermindert wie die dadurch ermöglichte Bindung von CO₂. Wieviel CO₂ wo verklappt werden kann, ohne diese biologische Pumpe des Ozeans erheblich zu beeinträchtigen, bedarf einer Klärung und ist Gegenstand der aktuellen Forschung.

Vor dieser Klärung wäre es nur sinnvoll, auf die Ozeansequestrierung zurückzugreifen, wenn nicht andere, weniger risikoreiche Optionen zur Verfügung stünden. Es scheint, daß die Lagerung von CO₂ in geologischen Formationen mit erheblich weniger Risiken verbunden ist. Später soll gezeigt werden, daß die Lagerung von

CO₂ in geologischen Formationen ausreicht, um eine angemessene Nutzung fossiler Energieträger zu ermöglichen.

Eine weitere Option des Kohlenstoffmanagements ist die Aufforstung von Wäldern, um das in die Atmosphäre entwichene CO₂ zu binden. Wieviel CO₂ die Wälder binden, ist aber umstritten. Klimapolitisch bedeutsam wird die Aufforstung vor allem dann, wenn Holz zur Verbrennung genutzt wird, um Wärme, Strom oder Treibstoffe zu erzeugen, die ansonsten mit fossilen Energieträgern hergestellt würden. Auch die vermehrte Nutzung von Holz als Baustoff, um Zement zu ersetzen, bietet die Möglichkeit, CO₂ zu vermindern. Mit diesen wirtschaftlichen Möglichkeiten verbinden manche Fachleute die Hoffnung, auch eine ökologisch nachhaltige Forstwirtschaft zu ermöglichen. Nach ihren Berechnungen könnte der Anteil der Biomasse an der weltweiten Primärenergieproduktion bis 2050 auf 100 Exajoule (EJ) steigen. Dies scheint jedoch die Obergrenze für eine nachhaltige Nutzung zu sein⁸.

Geo-engineering. Der Begriff des Geo-engineerings wird in der Literatur oft nicht klar vom Kohlenstoffmanagement abgegrenzt⁹. Hier seien darunter Maßnahmen verstanden, die versuchen, den Strahlungshaushalt der Erde durch planvollen Eingriff direkt zu verändern. Das Aufstellen einstellbarer Spiegel im Weltraum, die je nach Bedarf Sonnenlicht von der Erde ab- oder zulenken, fällt ebenso darunter¹⁰, wie die Überlegungen, Schwefeldioxid-Aerosole aus der Kohleverbrennung in die Stratosphäre einzubringen oder die Umlaufbahn der Erde zu verändern, indem man den Kurs von Asteroiden, die an der Erde vorbeifliegen, verändert, um einen Gravitationspull zu erzeugen¹¹. Während mit dem Kohlenstoffmanagement bereits experimentiert wird, scheint der praktische Einsatz des Geo-engineerings noch in weiterer Ferne zu liegen – für die nächsten Dekaden ist dies daher keine Option, die eine nähere ökonomische und politische Analyse verdient.

Anpassung. Schließlich wird intensiv darüber diskutiert, ob es nicht kostengünstiger sei, sich an den Klimawandel einfach anzupassen und auf Vermeidung von CO₂-Emissionen, das Kohlenstoffmanagement und das Geo-engineering weitgehend zu verzichten. So behaupten der Soziologe Nico Stehr und der Physiker Hadi Dowlatabadi, man könne abwarten, wie sich der Klimawandel in den verschiedenen Weltregionen entwickelt, um dann lokal angepaßt darauf zu reagieren¹²: Es sei dann immer noch genug Zeit, Dämme zu bauen, die Infrastruktur auf extreme Stürme und Dürren auszurichten und Staaten wie Bangladesch zu helfen, mit vermehrten Überschwemmungen fertig zu werden.

Dies wäre aber nur dann ein plausibles Szenario, wenn der Anstieg der CO₂-Konzentration etwa auf dem Niveau von 550 ppm (550 Teile auf eine Million Teile) oder gar auf 450 ppm begrenzt werden könnte. Nach übereinstimmender Auffassung würde ein Anstieg der CO₂-Konzentration über 550 ppm hinaus bereits höchst unerwünschte Gefahren heraufbeschwören, wie den Verlust der Biodiversität, Dürren und Überschwemmungen in Entwicklungsländern. Aber selbst eine vergleichs-

weise erfolgreiche Vermeidungspolitik, der es gelingen würde, die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre auf 550 ppm zu begrenzen, würde Anpassungsmaßnahmen in den Entwicklungsländern unvermeidbar machen.

Es ist aber auch klar, daß Anpassung allein keine sinnvolle Option ist. Denn ohne drastische Verringerung der CO_2 -Emissionen würde es zu einem Anstieg der Konzentration in der Atmosphäre von 350 ppm heute auf möglicherweise 900 ppm oder gar 1000 ppm im Jahr 2100 kommen. Es ist unwahrscheinlich, daß es unter dieser Bedingung vor allem für die Entwicklungsländer noch möglich ist, sich zu moralisch akzeptablen Kosten an den Klimawandel anzupassen.

Wege zu einem nachhaltigen Energiesystem

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat in seinem jüngst veröffentlichten Gutachten zur Energiewende versucht, einen Transformationspfad zu einem nachhaltigen Energiesystem zu beschreiben¹³. Damit hat der Wissenschaftliche Beirat eine neue Debatte eröffnet, welche die bisherige Polarisierung in der Klimadebatte überwinden kann. Schließt man zunächst die relativ risikoreichen Optionen der Kernenergie, der Ozeansequestrierung und des Geo-engineerings aus, stellt sich die Frage, ob die verbleibenden Optionen ein hinreichend großes technisches Potential haben, um den künftigen Energiebedarf zu decken. Das Kriterium der technischen Machbarkeit, das viele Szenarien zum Umbau des Energiesystems dominiert, genügt nicht. Hinzukommen muß, daß durch den Umbau des Energiesystems das wirtschaftliche Wachstum nicht nachhaltig abgesenkt wird. Ein Umbau des Energiesystems, der mit hohen Wachstumsverlusten erkaufte ist, wäre weder ökonomisch noch sozial nachhaltig. Für die Weltwirtschaft der nächsten fünf Dekaden ist Wirtschaftswachstum eine Notwendigkeit, weil ansonsten die sozialen Konflikte zwischen Industrie- und Entwicklungsländern eskalieren würden. Die Legitimität der Globalisierung hängt entscheidend davon ab, ob und in welchem Umfang Entwicklungsmöglichkeiten für die ärmeren Länder eröffnet werden. Es steht außer Frage, daß dies für die nächsten Dekaden ohne wirtschaftliches Wachstum unmöglich ist. Auch für die Industrieländer bleibt Wirtschaftswachstum mittelfristig notwendig, weil sie ohne Wachstum ihre internen Verteilungskonflikte kaum handhaben können. Es bleibt also zu prüfen, ob mit folgenden drei Optionen ein sowohl technisch machbarer als auch ökonomischer nachhaltiger Umbau bewerkstelligt werden kann, der zugleich den Ansprüchen des Klimaschutzes genügt: erstens Effizienzsteigerung des fossilen Energiesystems; zweitens Ersatz fossiler Energien durch erneuerbare Energien; drittens Einfangen von CO_2 an Kraftwerken und seine Lagerung in geologischen Formationen.

Mit Hilfe dieser drei Optionen muß zunächst ein Emissionspfad gefunden wer-

den, der den Anstieg und die Geschwindigkeit des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur begrenzt. Nachfolgende Abb. 2 zeigt einen solchen Emissionspfad, der es erlauben könnte, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf 2°C bis 2100 zu begrenzen und die Geschwindigkeit nicht über $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Dekade ansteigen zu lassen. Viele Naturwissenschaftler sind der Auffassung, daß ein über $2,0^{\circ}\text{C}$ hinausgehender Anstieg der globalen Mitteltemperatur die Gefahr „katastrophaler“ Klimaereignisse erhöhen würde. Selbst wenn man dieses Ziel als groben Anhaltspunkt akzeptiert, kann aber nicht mit Sicherheit gesagt werden, daß mit dem in Abb. 2 dargestellten Emissionspfad tatsächlich dieses Klimaschutzziel erreicht wird, da viele der im Modell gemachten Annahmen (z.B. über die Klimasensitivität) unsicher sind. Es besteht durchaus die Möglichkeit, daß dieser Pfad zu optimistisch oder zu pessimistisch ist. Das Szenario kann daher nicht Sicherheit beanspruchen, sondern lediglich Plausibilität.

Für dieses Klimaschutzziel wurden mit Hilfe des Modells MIND die Implikationen für das Wirtschaftswachstum ausgelotet¹⁴. Dabei zeigt sich, daß sich dieses Klimaschutzziel ohne große Wachstumsverluste nur erreichen läßt, wenn innerhalb der nächsten 100 Jahre etwa 200 Gigatonnen Kohlenstoff (GtC) in geologischen Formationen eingelagert werden. Darüber hinaus muß vor allem die Energieeffizienz in den nächsten beiden Dekaden erheblich gesteigert werden. Dies ist besonders darum nötig, weil der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch nur dann schnell genug steigen kann, wenn die dafür nötige Infrastruktur vor allem mit Hilfe fossiler Energieträger aufgebaut wird.

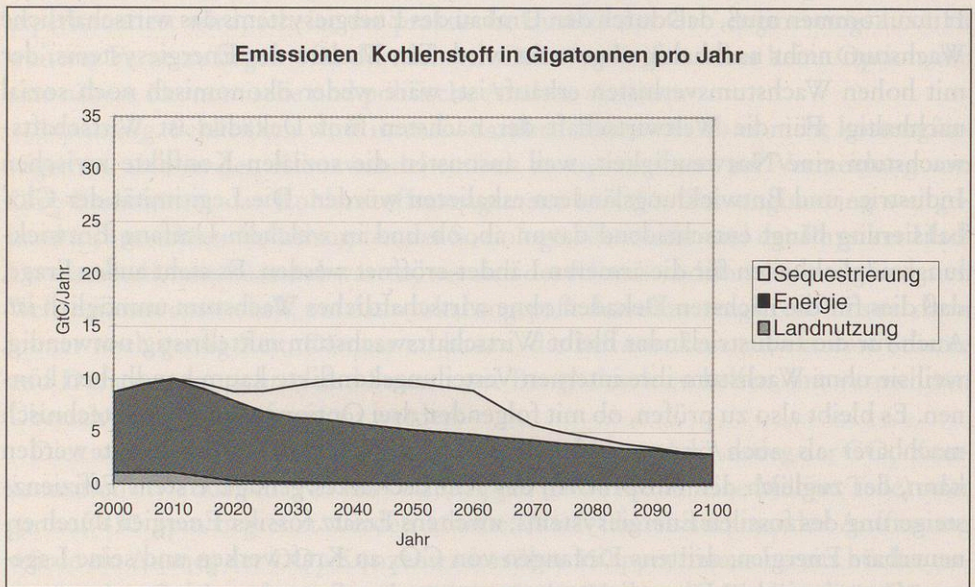


Abb. 2: Emissionspfad, der das Erreichen des Klimafensters erlauben würde.

In der Phase des Umbaus steigt daher die Nachfrage nach Energiedienstleistungen für den Aufbau der regenerativen Infrastruktur. Wenn die Emissionen nicht in gleichem Umfang steigen sollen, muß die Energieeffizienz drastisch erhöht werden. Erst durch diese gestiegene Energieeffizienz wird es möglich, den Anteil der erneuerbaren Energieträger bis zum Jahr 2050 auf nahezu 27 Prozent zu steigern, ohne das Klimaschutzziel zu verletzen (siehe Abb. 3).

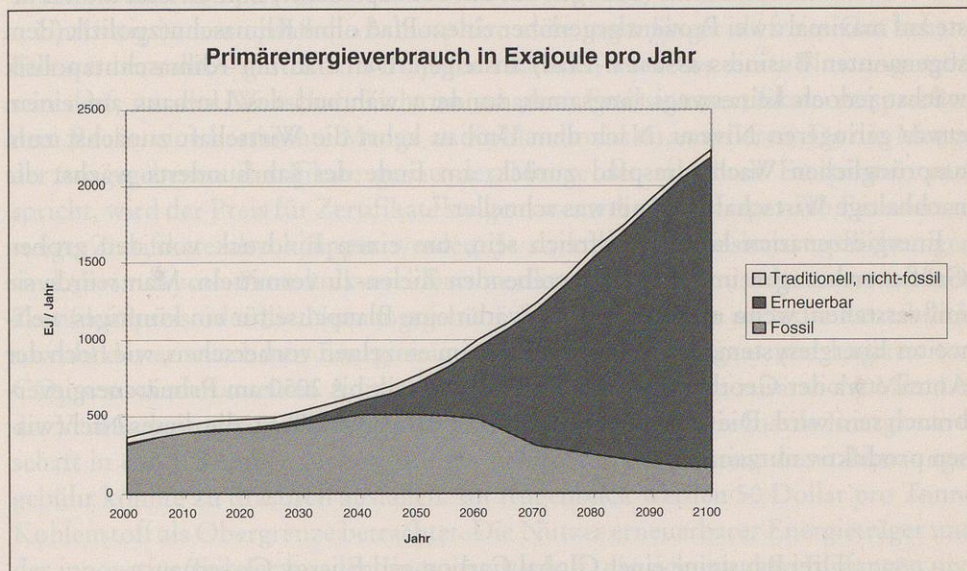


Abb. 3: Ein mögliches Energiesystem, das den Zielkonflikt zwischen Wachstum und Klimaschutz überwindet.

Mit Hilfe eines Energiesystemmodells wurde im Rahmen des Wissenschaftlichen Beirats für Globale Umweltveränderungen ermittelt, welche Techniken ein ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltiges Energiesystem besitzen würde¹⁵. Nach Berechnungen des Beirats spielt die Sonnenenergie in Form von Photovoltaik und Solarthermik nach 2050 die entscheidende Rolle. Vor 2050 sollten Wind und Biomasse (evt. verbunden mit einem klugen Kohlenstoffmanagement) relativ zügig eingesetzt werden. Das Szenario des Wissenschaftlichen Beirats zeigt jedoch auch, daß wir bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern leben müssen; darin stimmt das MIND-Szenario mit anderen Energieszenarien wie etwa dem von Shell weitgehend überein¹⁶.

Die Option, CO₂ etwa an großen Kohlekraftwerken einzufangen und in geologischen Formationen zu lagern, bietet die Möglichkeit, die fossilen Energieträger zu nutzen, ohne das Klimasystem weiter zu destabilisieren. Diese Option ist auch für die internationalen Klimaverhandlungen von großer Bedeutung: Sie könnte es den USA, aber auch Ländern wie China und Indien erleichtern, an den Klimaverhand-

lungen teilzunehmen, da die Einkommen der Besitzer von Kohle, Öl und Gas weit weniger geschmälert werden als bei einer Klimaschutzpolitik, die auf diese Option verzichtet.

Es stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, ob ein solcher Umbau des Energiesystems mit hohen Wachstumsverlusten verbunden sein kann. Es zeigt sich, daß es in der „heißen“ Phase des Umbaus durchaus zu geringfügigen Einschränkungen des Wirtschaftswachstums (bezogen auf das Sozialprodukt) kommt und die Verluste auf maximal zwei Prozent gegenüber einem Pfad ohne Klimaschutzpolitik (dem sogenannten Business-as-usual-Pfad) ansteigen. Der Pfad mit Klimaschutzpolitik wächst jedoch keineswegs langsamer, sondern während des Umbaus auf einem etwas geringeren Niveau. Nach dem Umbau kehrt die Wirtschaft zunächst zum ursprünglichen Wachstumspfad zurück, am Ende des Jahrhunderts wächst die nachhaltige Wirtschaft sogar etwas schneller¹⁷.

Energieszenarien können hilfreich sein, um einen Eindruck von den groben Größenordnungen und den anzustrebenden Zielen zu vermitteln. Man würde sie mißverstehen, wenn man glaubte, sie wären eine Blaupause für ein künftiges weltweites Energiesystem, denn niemand kann im einzelnen vorhersehen, wie hoch der Anteil etwa der Geothermie oder der Photovoltaik bis 2050 am Primärenergieverbrauch sein wird. Die Energiepolitik braucht daher Verfahren, die dieses Nichtwissen produktiv nutzen.

Drei Bausteine einer Global Carbon and Energy Governance

Wie bereits gezeigt, beinhaltet eine intelligente Strategie zur Vermeidung von Kohlenstoffemissionen drei Maßnahmen: erstens eine Erhöhung der Energieproduktivität; zweitens eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien; drittens die Nutzung fossiler Energie verbunden mit der Lagerung von CO₂ in geologischen Formationen.

Wie die obigen Ausführungen gezeigt haben, ist eine Kombination all dieser Maßnahmen nötig, um Wachstum und Klimaschutz gleichermaßen realisieren zu können. Keine Einzelmaßnahme allein ist hierzu in der Lage. Damit diese Maßnahmen verwirklicht werden können, bedarf es auch der dazu notwendigen Instrumente. Diese Instrumente sind bislang nur sehr unzureichend vorhanden. Es wäre eine Illusion zu glauben, es sei vor allem Aufgabe der „Politik“, angemessene Instrumente zu (er-)finden und diese auch einzusetzen. Diese Herausforderung können nur Investoren, Unternehmer, Verbraucher und Politiker gemeinsam bewältigen. Der Begriff „Governance“ drückt treffend aus, daß diese Akteure vernetzt werden müssen. Governance unterscheidet sich von Government darin, daß hier staatliche Organe zwar eine wichtige Rolle spielen, aber ihre Fähigkeit begrenzt ist, das Spiel durch „law and order“ zu dominieren. Eine Weltregierung mit Gewalt-

monopol ist daher für eine „Global Carbon and Energy Governance“ weder notwendig noch hinreichend. Die hier diskutierten Instrumente können auf nationaler, supranationaler und internationaler Ebene eingesetzt werden – „global“ bezieht sich hier lediglich darauf, daß das Menschheitsgut Atmosphäre geschützt werden soll.

1. *Handel mit CO₂-Zertifikaten*

Unstrittig ist heute, daß die Atmosphäre nicht mehr länger als freies Gut behandelt werden sollte – gestritten wird jedoch darüber, wie teuer dieses Nutzungsrecht sein darf, um der Wirtschaft nicht zu schaden: Emissionszertifikate entsprechen dem Recht, eine bestimmte Menge an Kohlendioxid zu emittieren. Da die Menge der ausgegebenen Zertifikate genau der Menge der erlaubten Emissionen entspricht, wird der Preis für Zertifikate steigen, wenn die Nachfrage nach Emissionen steigt, Zertifikate also knapper werden. Je strikter die Emissionsverpflichtungen sind, die im Kyoto-Protokoll vereinbart werden, um so höher ist der zu erwartende Zertifikatspreis oder die Nutzungsgebühr. Damit steigt aber auch die Rentabilität sowohl der erneuerbaren Energieträger als auch des Einfangens und Lagerns von CO₂, was wiederum einen Anreiz für Unternehmen darstellt, zusätzliche Mittel in die Verminderung von Kohlenstoffemissionen zu lenken. Die fossile Energiewirtschaft in den USA aber auch in Europa befürchtet, der Anstieg dieser Nutzungsgebühr könnte zu drastisch ausfallen. Im Augenblick werden 50 Dollar pro Tonne Kohlenstoff als Obergrenze betrachtet. Die Nutzer erneuerbarer Energieträger und der innovative Teil der fossilen Energiewirtschaft, die sich mit dem Einfangen und Lagern von CO₂ beschäftigt, werden einen hohen Zertifikatspreise bevorzugen, da dies die Rentabilität ihrer Investitionen erhöht.

Der Preis für Kohlenstoff muß aber nicht dauerhaft hoch sein. Durch den technischen Fortschritt bei den erneuerbaren Energien und beim Einfangen und Lagern von CO₂ kann der Zertifikatspreis irgendwann wieder sinken: Denn je stärker die Kosten hier sinken, desto weniger wird die Atmosphäre genutzt, da durch die Verwendung dieser Techniken zunehmend weniger Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt. Eine dauerhaft geringere Nutzung der Atmosphäre geht daher mit einem sinkenden Nutzungspreis einher. Der Nutzungspreis (der Zertifikatspreis) muß nur vorübergehend stark steigen, um die entsprechenden Investitionen und Innovationen zu mobilisieren.

2. *Förderung erneuerbarer Energien durch „Green Energy Certificates“*

Durch die Einführung eines Zertifikatssystems allein wird sich der Anteil erneuerbarer Energien nicht ausreichend erhöhen, denn ein Zertifikatsmarkt sorgt nur dafür, daß für die Nutzung der Atmosphäre ein Preis gezahlt wird. Die Erhebung dieses Nutzungspreises würde nur dann zu verbesserten Ergebnissen auf den Energiemärkten führen, wenn diese störungsfrei funktionierten. Da aber die

Märkte für Energie nur sehr unvollkommen funktionieren, bedarf es eines Instruments, das diesen Marktstörungen abhilft. Der Grund für das „Marktversagen“ liegt vor allem darin, daß die Energiemärkte im allgemeinen und der Markt für regenerative Energien im speziellen schon aus technischen Gründen nicht wie ein „idealer“ Markt funktionieren können. Sowohl die erneuerbaren Energieträger als auch die fossilen weisen sogenannte Größenvorteile auf: Je höher das Produktionsvolumen (oder die installierte Kapazität), um so geringer die Kosten pro Kilowattstunde (kWh). Da aber die erneuerbaren Energieträger erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen, hingegen die fossilen Energieträger am Markt bereits etabliert sind, würden Investoren auch dann nicht in die erneuerbaren Energieträger investieren, wenn diese langfristig zu niedrigeren Kosten führten als die fossilen Energieträger.

Der Grund liegt darin, daß Pionierunternehmer gerade in den Anfangsphasen der Einführung neuer Techniken viel dazu beitragen, daß es zu „learning by doing“ kommt und dadurch die Kosten sinken. Die später am Markt eintretenden Unternehmer nutzen diesen Kostenvorteil ohne die entsprechenden Anfangsinvestitionen. Auf Märkten mit steigenden Skalenerträgen besteht daher ein Anreiz, nicht Pionierunternehmer zu sein. Wenn aber alle dem Pionierunternehmen folgen wollen, wird keiner folgen können. Dieser Effekt ist um so ausgeprägter, je kürzer der Zeithorizont der Unternehmer ist.

Ob die erneuerbaren Energieträger das Potential haben, so billig wie die fossilen Energieträger zu werden, ist ungewiß. Viele Studien gehen davon aus, daß die erneuerbaren Energieträger auch langfristig teurer sein werden als die fossilen Energieträger¹⁸. Ob dies tatsächlich zutrifft, wird sich nur entscheiden lassen, wenn man den erneuerbaren Energieträgern die Möglichkeit gibt, zu zeigen, was sie können. Ihr Potential werden sie aber nur dann realisieren können, wenn sie vorübergehend subventioniert werden. Da Subventionen meist eine Einladung zur Mißwirtschaft sind, stellt sich die Frage, wie ein Subventionssystem entworfen werden könnte, das diese Mißwirtschaft vermeidet.

Eine vielversprechende Möglichkeit stellen handelbare Mengenzertifikate für erneuerbare Energieträger dar, die oft als „Grüne Energiezertifikate“ bezeichnet werden. Es soll hier ein idealtypisches Modell vorgestellt werden, das in viele Richtungen variiert werden kann. Diskutiert werden diese Modelle sowohl für den Strom- als auch für den Wärmemarkt.

So könnte zum Beispiel die Bundesrepublik Deutschland festlegen, den Anteil der erneuerbaren Energieträger bei der Produktion von Strom bis zum Jahre 2010 auf elf Prozent zu erhöhen. Die Betreiber des Stromnetzes bekommen die Verpflichtung auferlegt, einen bestimmten Anteil (Quote) an „grünem“ Strom in das Netz einzuspeisen. Zugleich werden an alle Anbieter von regenerativem Strom handelbare Zertifikate ausgestellt, die ihrer Menge an eingespeistem regenerativem Strom entsprechen. Die Erfüllung ihrer Mengenverpflichtung müssen die Betreiber

des Stromnetzes durch den Besitz der Zertifikate nachweisen, nicht notwendigerweise durch die physikalische Einspeisung von Strom. Die Zertifikate erhält der Netzbetreiber entweder durch Kauf am Zertifikatsmarkt oder durch die physikalische Einspeisung von Strom. Damit entsteht ein doppelter Wettbewerb: auf dem Zertifikatsmarkt und auf dem Strommarkt. Auf dem Zertifikatsmarkt kann der Netzbetreiber, der mehr grünen Strom in das Netz einspeist als es seiner zugewiesenen Quote entspricht, Zertifikate verkaufen; speist er weniger Strom ein, muß er Zertifikate kaufen, da er ja die Erfüllung seiner Mengenverpflichtung durch den Besitz der Zertifikate nachweisen muß.

Die Anbieter regenerativer Energien haben einen Anreiz, die Kosten schnell zu senken, um den Marktanteil und den Gewinn zu erhöhen. Durch die staatliche Festlegung der Mengen läßt sich der Anteil steuern, den die regenerativen Energien am gesamten Energiemix haben sollen – die Preisbildung und die Technikwahl wird dem Markt überlassen. Durch die Einführung dieser Quoten entstehen für die Anbieter regenerativer Energien vorübergehend Monopolrenten, da den fossilen Energieträgern der Marktzutritt teilweise verwehrt wird. Durch diese Monopolrenten wird es den Anbietern regenerativer Energien möglich, ihre Anfangsinvestitionen zu finanzieren.

Die Effizienz des Instruments hängt entscheidend davon ab, daß sich die Quoten auf die Gesamtheit der regenerativen Energieträger bezieht und nicht auf Teilquoten für einzelne Energieträger, etwa für Wind, Biomasse, Photovoltaik usw. Nur so kann ein Wettbewerb um die kostengünstigsten regenerativen Energieträger entstehen. Bei der Festlegung von Teilquoten bedürfte es eines staatlichen Wissens, welche der regenerativen Primärenergieträger sich durchsetzen wird. Weder staatliche Behörden noch die Unternehmen noch Wissenschaftler wissen jedoch, welcher regenerative Energiemix sich letztlich durchsetzen wird.

Man könnte einwenden, daß ebenfalls niemand weiß, wie der Energiemix zwischen fossilen und regenerativen Energien ohne Wettbewerb bestimmt werden soll. Die Grünen Energiezertifikate können aber nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn man einer Behörde zutrauen kann, über dieses Wissen zu verfügen, über das – so der mögliche Einwand – eine Behörde gar nicht verfügen kann. Dieses Argument ist darum nicht überzeugend, weil dieses Wissen gar nicht benötigt wird. Das fossile Energiesystem hat nämlich seine hohen Anfangsinvestitionen längst abgeschrieben, die das regenerative Energiesystem noch vor sich hat. Aus diesem Grund würden die erneuerbaren Energieträger unter Wettbewerbsbedingungen auch dann nicht eingesetzt werden, wenn sie langfristig die Energiedienstleistungen zu geringeren Kosten bereitstellen würden. Da nahezu alle regenerativen Energieträger noch relativ junge Techniken sind, benötigen sie eine Starthilfe, damit sie ihr Kostensenkungspotential schnell realisieren können. Irgendwann muß die Starthilfe auslaufen, und sie müssen mit den fossilen Energieträgern in einen ungeschützten Wettbewerb eintreten, durch den dann bestimmt wird, wie die langfristige Kosten-

struktur des Energiemixes aussieht. Die Behörde maßt sich hier kein Wissen an, über das sie prinzipiell nicht verfügen kann, sondern ermöglicht erst den Wettbewerb, durch den herausgefunden werden soll, welches die kostengünstigste Alternative ist. Ohne diese Starthilfe ist nicht garantiert, daß sich auch die beste Alternative durchsetzt.

Das Argument, die regenerativen Energien müßten vorübergehend gegenüber den fossilen Energieträgern „geschützt“ werden, ließe sich auch auf die unterschiedlichen regenerativen Energieträger anwenden. Auch hier sind die Anfangsinvestitionen verschieden, und auch hier zeigen sich unterschiedliche „Reifegrade“; so ist Windenergie heute wesentlich billiger als etwa Photovoltaik. Um auf dem Markt für die regenerativen Energieträger einen Wettbewerb zu ermöglichen, wird es darauf ankommen, daß die zu erfüllenden Quoten für die erneuerbaren Energieträger langfristig angekündigt werden und eine „Stop and go“-Politik vermieden wird, um den Investoren eine langfristige Planung zu ermöglichen und ihre Erwartungen nicht zu destabilisieren. Bei stabilen Erwartungen werden die Unternehmer auch in Techniken investieren, die hohe Anfangsinvestitionen erfordern und erst später Gewinne ermöglichen. Bei „marktfernen“ Techniken, die noch hohe Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen erfordern, wird man über das Quotenmodell hinaus etwa an Abschreibungserleichterungen für Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen denken müssen.

Dieses Instrument könnte so weiterentwickelt werden, daß die Grünen Energiezertifikate international gehandelt werden können, so daß grüner Strom und grüne Wärme auch in Entwicklungsländern produziert und verbraucht werden können.

3. *Carbon Sequestration Bonds*¹⁹

Der Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem führt über die Brücke der fossilen Energieträger. Daher kommt der Nutzung der geologischen Formationen eine hohe Bedeutung zu. Die Sequestrierung von 200 Gigatonnen Kohlenstoff, wie sie der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen vorgeschlagen hat, ist in ausgelassenen Erdgas- und Erdölfelder mit relativ geringen Risiken möglich.

Um die geologischen Formationen nachhaltig nutzen zu können, müssen zwei institutionelle Probleme gelöst werden. Erstens: Da die Lagerkapazität begrenzt ist, muß ein Preis für die Nutzung von Aquiferen, Erdöl- und Erdgasfeldern erhoben werden – dieser Preis sei hier Deponiepreis genannt. Es läßt sich nun leicht einsehen, daß sich zum Beispiel ein Kohlekraftwerksbetreiber entscheiden kann, für die entstehenden CO₂-Emissionen entweder die Atmosphäre oder zur Verfügung stehende geologische Formationen zu nutzen. Solange der Deponiepreis zuzüglich der Transport- und Kontrollkosten geringer ist als der Nutzungspreise der Atmosphäre (z.B. ausgedrückt im Zertifikatspreis), wird er sich für die Lagerung in der geologischen Formation entscheiden. Könnte man sicher sein, daß aus den geologischen Formationen kein CO₂ entweichen kann, wären mit der Festlegung der Nutzungs-

rechte an der Atmosphäre und der Erhebung einer Deponiegebühr alle Vorkehrungen für eine vernünftige Nutzung eines knappen Gutes getroffen.

Es besteht aber zweitens ein Risiko, daß aus den geologischen Formationen CO_2 entweicht. Das wäre gewiß kein „katastrophales“ Ereignis, sofern nicht aus allen geologischen Formationen gleichzeitig große Mengen an CO_2 entweichen. Zwar sind die Wahrscheinlichkeiten des Schadenseintritts (noch) nicht bekannt, aber die maximale Schadenshöhe läßt sich einfach ermitteln. Es ist die Menge von CO_2 , das aus der geologischen Formation entweicht, multipliziert mit dem zum Zeitpunkt des Austritts herrschenden (Zertifikats-)Preis der Emissionen: Entweicht nämlich CO_2 aus einer geologischen Formation, so wird die Atmosphäre als „Lager“ für das CO_2 genutzt; für diese Nutzung wurde aber kein Preis entrichtet. Darum müßte für den Fall des Entweichens das Unternehmen für diese Nutzung der Atmosphäre ein Zertifikat kaufen. Da die Menge an Zertifikaten nicht vermehrt wird, steigt der Zertifikatspreis. Damit wird den Investoren, Verbrauchern und Unternehmern signalisiert, daß die Nutzungsrechte der Atmosphäre knapper sind, als sie ursprünglich dachten.

Mit dieser Lösung allein wird man jedoch nicht verhindern, daß Unternehmen bei der Lagerung in geologischen Formationen Mißbrauch treiben. Das Management eines Unternehmens könnte darauf spekulieren, daß das CO_2 erst entweicht, wenn das Unternehmen nicht mehr existiert, der Zertifikatspreis langfristig sogar sinkt oder längst ein anderes Management sich mit dem Schaden herumzuschlagen hat. Ist der Zeithorizont der Investoren und Manager geringer als der vermutete Zeitpunkt des Entweichens von CO_2 und die Risikobereitschaft hoch, so ist die Lagerung in geologischen Formationen für die Investoren in jedem Fall ein Geschäft, da das Risiko auf die späteren Generationen abgewälzt werden kann. Es kommt daher vor allem darauf an, im voraus einen Anreiz zu schaffen, daß Unternehmen aus Eigeninteresse CO_2 in möglichst sicheren Formationen lagern.

Die Einführung von „Carbon Sequestration Bonds“ bietet die Möglichkeit eines vernünftigen Risikomanagements: Jedes Unternehmen, das CO_2 in die geologischen Formationen einlagern will, muß im Wert der eingelagerten CO_2 -Menge (eingelagerte Menge multipliziert mit dem Zertifikatspreis für CO_2) einen Bond kaufen. Aus der Sicht des Unternehmens ist dieser Bond ein Vermögenstitel, der auf der Aktivseite seiner Bilanz erscheint. Das Unternehmen garantiert für die Laufzeit des Bonds, daß das CO_2 in der geologischen Formation verbleibt. Ist dies tatsächlich der Fall, so wird der Bond verzinst (in der Höhe eines langfristigen Wertpapiers) an das Unternehmen zurückbezahlt. Der Bond wird jedoch alle drei Jahre durch eine noch näher zu bestimmende Umweltbehörde abgewertet, es sei denn, das Unternehmen kann zweifelsfrei nachweisen, daß das CO_2 in der geologischen Formation verblieben ist. Entweicht CO_2 , so wird der Bond teilweise entwertet und das Unternehmen muß die Forderung an die Umweltbehörde teilweise abschreiben.

Der an die Umweltbehörde gefallene Betrag muß dann aber zur Subventionierung von noch „marktfernen“ erneuerbaren Energien verwendet werden. Diese Zweckbindung der möglichen Einnahmen der Behörde soll dazu dienen, eine Kompensation für den erlittenen Wettbewerbsnachteil der erneuerbaren Energien zu schaffen. Denn ohne die Lagerung von CO_2 in geologischen Formationen wären die erneuerbaren Energieträger schneller rentabel geworden. Entweicht gelagertes CO_2 aus den geologischen Formationen, wird wertvolle Zeit, die für einen kostengünstigen Umbau des Energiesystems nötig gewesen wäre, vertan.

Carbon Sequestration Bonds müssen auf Märkten handelbar sein: Das Unternehmen kann dann seine Bonds verkaufen und sich so liquide Mittel verschaffen. Die Unternehmen werden ihre Bonds aber nur dann verkaufen können, wenn sie den Käufern eine verbesserte Verzinsung bieten können als ein risikoloses Wertpapier. Wie hoch dieser Risikoaufschlag sein wird, hängt davon ab, wie hoch die Käufer das Risiko einschätzen, daß der Bond abgewertet wird. Je stärker die Käufer befürchten, CO_2 könnte entweichen, um so billiger werden sie die Bonds kaufen wollen. Das Unternehmen kann nur dann einen hohen Bondpreis erzielen, wenn es die Käufer (Bürger, Organisationen wie Greenpeace) davon überzeugen kann, daß die Deponie sicher ist. Es besteht also ein Anreiz für die gesamte Branche, das Vertrauen in die Bonds nicht zu unterminieren.

Durch die drohende Abwertung der Bonds wird der Sicherheitsstandard der geologischen Formation zu einem marktfähigen Gut. Unternehmen werden nämlich einen Anreiz haben, leistungsfähige Kontrolltechniken zu entwickeln, die den Verbleib von CO_2 in den geologischen Formationen nachweisen. Je besser dieser Nachweis gelingt, um so höher liegt der Vermögenswert der Bonds. Da die Carbon Sequestration Bonds handelbar sind, können Anleger, Analysten und Bürger das Vertrauen, das sie in diese Technik haben, dadurch ausdrücken, daß sie Bonds kaufen. Je höher das Vertrauen in der Öffentlichkeit, um so höher der Kurs. Damit bestimmt die Öffentlichkeit mit, in welchem Umfang sequestriert werden kann und soll. Damit wäre die Risikoabschätzung dieser Technik dem „technokratischen Klüngel“ entzogen – ein Verfahren, das sowohl den Einsatz der Technik als auch die Investitionsentscheidungen demokratisieren würde.

Das Marktpotential für die Sequestrierung von CO_2 dürfte beträchtlich sein. Geht man davon aus, daß in den nächsten 100 Jahren nach Annahmen des Wissenschaftlichen Beirats für Globale Umweltveränderungen 200 Gigatonnen Kohlenstoff sequestriert werden müssen, wenn ehrgeizige Klimaziele erreicht werden (sollen), und der Preis für eine Tonne Kohlenstoff über ca. 20 Dollar in der Atmosphäre beträgt (bei diesem Preis wird die Sequestrierung bereits rentabel), so entspricht das jährliche Umsatzvolumen etwa 0,13 Prozent des heutigen Weltsozialprodukts.

Fazit

Der Weg zu einer nachhaltigen Klima- und Energiepolitik führt über drei Zwischenziele: Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger, Steigerung der Energieeffizienz, Einfangen und Lagern von CO₂ in geologischen Formationen. Diese Ziele lassen sich nur erreichen, wenn geeignete Instrumente für eine „Global Carbon and Energy Governance“ zur Verfügung stehen. Governance-Strukturen entstehen nicht durch eine elitäre Blaupause, sondern durch Versuch und Irrtum. Experimente mit CO₂-Zertifikaten, Grünen Energiezertifikaten und Carbon Sequestration Bonds lassen sich zügig beginnen.

Diese drei Bausteine können zu einer durchdachten Architektur zusammengefügt werden, die mit anderen energiepolitischen Forderungen kompatibel ist, etwa mit dem Abbau von Subventionen für fossile Energieträger und den Nuklearstrom. Diese Experimente bedürfen eines unternehmerischen und politischen Gestaltungswillens ebenso wie der wissenschaftlichen Begleitung. Aus Fehlern in der Anwendung werden wir lernen können, diese Instrumente zu verbessern und – falls sie sich als unzureichend erweisen – neue zu erfinden. Am Ende eines solchen Lernprozesses könnte die Einsicht stehen, daß wir zwischen Wachstum ohne Klimaschutz und Klimaschutz ohne Wachstum – zwischen Pest und Cholera – nicht wählen müssen und darum auch nicht wählen dürfen.

ANMERKUNGEN

¹ S. Rahmstorf, Klimawandel – Rote Karte für die Leugner, in: *Bild der Wissenschaft* 1/2003.

² B. Lomborg, *Apokalypse No. Wie sich die menschlichen Lebensgrundlagen verändern* (Lüneburg 2002).

³ The Misleading Math about Earth, in: *Scientific American*, Januar 2002.

⁴ The Economist, 2.2.2002; auch „The Danish Committee on Scientific Dishonesty“ hat sich mit Lomborg beschäftigt und ihm wissenschaftliches Fehlverhalten vorgeworfen: www.forsk.dk/uvvu/nyt/udtaldebat/bl_decision.htm

⁵ B. Emmott, *Vision 20/21. Die Weltordnung des 21. Jahrhunderts* (Frankfurt 2003) 308–315. Emmott nimmt das Problem des Klimawandels ernst und ist auch der Auffassung, die Emissionen müßten reduziert werden. Dennoch ist seiner Auffassung nach Armut ein wesentlich ernsteres Problem, für das die Menschheit dringend Ressourcen benötige.

⁶ Vgl. zu dieser wichtigen Diskussion F. Reusswig, K. Gerlinger, O. Edenhofer, *Lebensstile u. globaler Energieverbrauch. Arbeitspapier Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung* (Potsdam 2002); vgl. auch O. Edenhofer, H. Held, C. C. Jaeger, *Langfristige Optionen einer globalen Energie- u. Umweltpolitik*, in: *Klima. Das Experiment mit dem Planeten*, hg. v. W. Hauser (Stuttgart 2003).

⁷ J. C. Orr u. a., Ocean CO₂ sequestration efficiency from 3-D ocean model comparison, in: *Greenhouse Control Technologies. Proceedings of the 5th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, hg. v. D. Williams u. a. (Collingwood 2002) 469–474.

⁸ Zu weiteren Maßnahmen des Kohlenstoffmanagements wie etwa die Eisendüngung des Ozeans vgl. H. –J. Schellnhuber, *Geo-engineering: Was können wir, was dürfen wir*, in: *Nachhaltigkeit u. globaler Wandel*, hg. v. G. Hempel u. M. Schulz-Baldes (Frankfurt 2003) 137–138. Das Potential dieser Optionen kann als eher gering eingeschätzt werden.

⁹ D. W. Keith, *Geo-engineering the Climate*, in: *History and Prospect. Annual Review of Energy and Environment* (2000) 245–284.

¹⁰ B. Govindasamy u. K. Caldeira, *Geo-engineering – Earth's radiation balance to mitigate CO₂ induced climate change*, in: *Geophysical Research Letter* 27 (2000) 2141–2144.

¹¹ Schellnhuber (A. 8) 136.

¹² N. Stehr u. H. Dowlatabadi, Die Exekutive der Wissenschaften, in: FAZ, 3.4.2001.

¹³ Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU), Energiewende zur Nachhaltigkeit (Berlin 2003).

¹⁴ Das Modell MIND wurde am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung von O. Edenhofer, N. Bauer und E. Kriegler entwickelt. Es ist ein mehrsektorales Wachstumsmodell, in dem Wirtschaft, Energie und Klima gekoppelt sind. Der WBGU hat dieses Modell verwendet, um die wachstumspolitischen Implikationen seines Transformationsszenarios zu berechnen.

¹⁵ Mit Hilfe des Energiesystemmodells MESSAGE hat der WBGU einen Wert von 50 Prozent für die erneuerbaren Energieträger berechnet. Dieser Wert weicht darum von dem mit MIND berechneten Wert (27 Prozent) ab, weil MESSAGE die Kosten der Extraktion fossiler Energieträger erheblich pessimistischer einschätzt als MIND. MIND hingegen stimmt mit den Werten des Shell-Szenarios sehr gut überein. Die Modellierer von MIND gehen davon aus, daß der Ressourcensektor ebenso wie der erneuerbare Sektor ein „fast learner“ ist: vgl. WBGU (A. 13) 110.

¹⁶ Shell International Energy Needs, Choices and Possibilities. Exploring the Futures. Scenarios to 2050 (New York 2001) 60. Das MIND-Szenario mißt der Erhöhung der Energieeffizienz bis 2050 eine größere Bedeutung bei als das Shell-Szenario und erzielt damit einen geringeren Primärenergieverbrauch.

¹⁷ WBGU (A. 13) 144.

¹⁸ J. Goldenberg, Energy the challenge of sustainability. World Energy Assessment (UNDP 2000) 281.

¹⁹ Meines Wissens werden hier das erste Mal institutionelle Regelungen diskutiert, die Carbon Sequestration einerseits effizient, andererseits ethisch verantwortet ermöglichen sollen.