

Ökonomische Risiken durch Klimawandel

CLAUDIA KEMFERT

Zusammenfassung

Der menschlich verursachte Klimawandel nimmt immer größere Ausmaße an, in den kommenden 100 Jahren werden wir mit einem drastischen Klimawandel zu rechnen haben. Die wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels sind der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und des Meeresspiegels sowie die Zunahme extremer Wetterereignisse und Naturkatastrophen, welche enorme volkswirtschaftliche Schäden verursachen. Der Stern-Bericht der britischen Regierung bestätigt, dass der Klimawandel vor allem eine ökonomische Komponente besitzt: Durch extreme Klimaereignisse entstehen Kosten für die Volkswirtschaft, Stern rechnet mit bis zu 20% der globalen Volkswirtschaft. Wie unsere Ergebnisse zeigen, werden auch erhebliche Kosten auf die deutsche Volkswirtschaft zukommen, bis zu 800 Mrd. USD müsste die deutsche Volkswirtschaft in den kommenden 50 Jahren nur für die Behebung von Klimaschäden aufwenden, das sind ca. 3% des Bruttosozialprodukts in dieser Zeit. Die werden weiter steigen, wenn kein Klimaschutz betrieben wird. Wenn die Hauptverursacher des Klimawandels Kooperationen in technologische Innovationen erzielen und gemeinsam einen Emissionshandel etablieren, können die Kosten des Handelns, d.h. der Treibhausgasminderung, deutlich niedriger sein, als die Kosten des Nichthandelns. Wenn sofort mit Klimaschutzpolitik begonnen werden würde, würden enorme Schäden vermieden.

Der Einfluss des Menschen auf das Klima ist groß

Der Einfluss des Menschen auf das natürliche Klima ist niemals größer gewesen als heute. So sind bedeutende Umweltveränderungen durch menschliche Aktivitäten, wie die steigenden Emissionen von Treibhausgasen (THG), zu einem wesentlichen Bestandteil der heutigen Lebenswelt geworden. Die Emissionen von Treibhausgasen und damit Treibhausgaskonzentrationen sind in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Der *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC) und der Wissenschaftliche Beirat globaler Umweltveränderung (WBGU) gehen davon aus, dass eine Veränderung der globalen Kohlendioxidkonzentrationen von über 450 ppm und damit einer Temperaturänderung von über 2°C im Jahre 2100 eine gefährliche Beeinflussung des Klimas durch den Menschen bedeuten wird. Die heutige Kohlendioxidkonzentration liegt bereits bei knapp 400 ppm.¹ Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen sind Industriestaaten mit hohem Pro-Kopf-Energieverbrauch und Emissionen wie die USA, die europäischen Länder, Japan. Inzwischen hat das energieintensive Wachstum Chinas dazu geführt, dass dieses Land schon heute Platz 2 der weltweiten CO₂-Emissionen einnimmt. Es ist abzusehen, dass der vom Menschen verursachte Klimawandel langfristige, irreversible Schäden verursachen wird, die die natürlichen Lebensgrundlagen gefährden.

Langjährige Beobachtungen bestätigen, dass sich die Erde erwärmt. Im 20. Jahrhundert hat sich die globale Oberflächentemperatur um 0,2 (±0,6) °C erhöht. Der Anstieg der Oberflächentemperatur der nördlichen Hemisphäre war in dieser Zeit größer als in den vorausgegangenen 1000 Jahren. 1990 war global das wärmste Jahr im 20. Jahrhundert, das Jahr 2005 war das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Die Anzahl der heißen Tage hat zugenommen, die der kalten Tage abgenommen. Die anthropogenen, d.h. durch den Menschen verursachte, Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) ist seit 1750 sehr stark angestiegen. Je nach Annahmen über die künftigen Entwicklungen wären Temperaturerhöhungen von 1,5°C bis zu 5,5°C im Jahre 2100 zu erwarten. Allein die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid hat sich von 1750 bis heute um 31% (± 4%) erhöht.² Die CO₂ Emissionen werden hauptsächlich durch

-
- 1 IPCC: Climate Change 2007; Kemfert u.a.: Economic Impact Assessment.
 - 2 Heute sind 150 Gigatonnen (Gt) an Kohlendioxidemissionen mehr in der Atmosphäre als noch vor der Industrialisierung. Die Menge an Kohlendioxid wächst jährlich um 3%. Im Jahre 2050 würde bei unveränderter Wachstumsrate die Menge an Kohlendioxid schon 300 Gt betragen.

die Verbrennung fossiler Energien erzeugt. Die Erderwärmung der letzten 50 Jahre ist daher im Wesentlichen auf menschlichen Einfluss zurückzuführen. Mit zunehmenden Treibhausgasemissionen und Temperaturen wird der globale Meeresspiegel weiter steigen, und zwar je nach zugrunde gelegten Annahmen und Szenarien um 10 cm bis zu 90 cm bis zum Jahre 2100.

Die Anzahl extremer Naturereignisse nimmt zu – und damit auch die volkswirtschaftlichen Schäden

Die Anzahl und Stärke extremer Naturkatastrophen, wie durch extreme Regenfälle verursachte Überschwemmungen, Hitzewellen und Stürme mit steigenden Intensitäten, nehmen immer weiter zu. Tabelle 1 zeigt die möglichen extremen Klima-Ereignisse, die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens und ihre möglichen Auswirkungen. Es ist als gesicherte Erkenntnis anzusehen, dass nicht nur die Anzahl und Intensität extremer Naturereignisse, insbesondere die Zunahme extremer Regenfälle, weiter steigen wird. Manche Regionen in der Welt werden und sind schon heute stärker von dem Klimawandel betroffen als andere. In den Regionen Nordamerikas sind vermehrt Stürme und Tornados mit extremen Windintensitäten zu erwarten, wohingegen in Asien Überschwemmungen wahrscheinlicher sind. In Europa wiederum ist in Zukunft neben extremen Hitze-Ereignissen und Fluten auch mit starken Stürmen wie Tornados und Hurrikane zu rechnen.

Extreme Hitze-Phänomene und Regenfälle waren in den vergangenen Jahren in Europa, insbesondere auch in Deutschland, deutlich sichtbar: In Mittel- und Osteuropa traten im Jahre 2002 extreme Regenfälle und Überflutungen auf. Im Osten und Süden Deutschlands, im Südwesten Tschechiens sowie in Österreich und Ungarn kam es zu starken Überschwemmungen der Donau, Elbe, Moldau, Inn und Salzach. Das »Jahrtausendhochwasser« hat neben Österreich, Tschechien vor allem Deutschland stark getroffen: Die Schäden haben sich allein in Deutschland auf 9,2 Mrd. Euro belaufen³.

3 Münchner Rück: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002.

Extremes Klimaereignis	Wahrscheinlichkeit	Auswirkungen
Höhere maximale Temperaturen. Mehr heiße Tage und Hitzewellen	sehr hoch	Ansteigende Todesfälle und ernsthafte Erkrankungen älterer Personen, Anstieg von Hitzestress bei Tieren Verschiebung der Touristengebiete Anstieg des Risikos von Ernteschäden Reduktion der Energieversorgungssicherheit Anstieg der Energienachfrage für Kühlung
Weniger kalte Tage und Reduktion von Kältewellen	sehr hoch	Verminderte Sterbewahrscheinlichkeit durch weniger kalte Tage Verminderte Risiken der Ernteauffälle Anstieg der Ausbreitung „tropischer“ Krankheiten Vermehrte Ausbreitung von Schädlingen Reduzierte Energienachfrage für Heizen
Höhere extreme Regenfälle	sehr hoch	Anstieg der Schäden durch Überflutungen, Erdbeben, Lawinen Anstieg der Bodenerosion Erhöhte Entschädigungszahlungen des Staates Anstieg des ökonomischen Risikos für Versicherungsunternehmen
Anstieg der Sommertrockenheit und Risiken von Dürren	hoch	Reduzierte Ernteerträge Anstieg der Gebäudeschäden durch Bodenbeschaffenheitsänderungen und -verminderungen Reduzierte Wasserressourcen und verschlechterte Wasserqualität Anstieg des Risikos durch Waldbrände
Anstieg der Windintensitäten von Wirbelstürmen Anstieg der mittleren und höchsten Regenfälle (in manchen Regionen)	hoch	Erhöhtes Risiko für das Menschenleben Anstieg der Risiken für Krankheiten und Epidemien Anstieg der Küstenerosion und Schäden an Gebäuden und Infrastruktur in Küstennähe Anstieg der Schäden der Ökosysteme an der Küste (wie Korallenriffe und Mangroven)
Im Zusammenhang mit El Nino-Effekten intensivierte Fluten und Dürren	hoch	Reduzierte landwirtschaftliche Produktivität in Dürreregionen und Überschwemmungsgebieten Anstieg der Schäden in Mittelasien Reduzierte Wasserressourcen in Dürreregionen
Anstieg der Monsunregenschwankungen in Asien	hoch	Anstieg der Überflutungen und Dürren
Anstieg der Intensität der Stürme am mittleren Breitengrad	niedrig	Anstieg des Risikos für Leben und Gesundheit Anstieg der Wohlfahrtseinbußen und Anstieg der Infrastrukturschäden Anstieg der Schäden in Küstenzonengebieten

Tabelle 1: Beispiele extremer Klimaereignisse und die Auswirkungen (positiv und negativ) [Quelle: IPCC (2001)]

Im Jahre 2003 litt ganz Europa unter einer extremen Hitzewelle. Die volkswirtschaftlichen Schäden umfassen zum einen Hitzetote, wie sie vor allem in Frankreich aufgetreten sind und auch Gesundheitsschäden durch erhöhte Krankheitsgefahren, zum anderen Ernteaufschläge, Störungen in der Energiebereitstellung⁴ und ein Anstieg der Waldbrände. Insgesamt können für das Jahr 2003 Schäden der Hitzewelle in Höhe von 10 bis 17 Mrd. Euro für Europa geschätzt werden.⁵ Die Schäden des Hurrikans Katrina wurden von der US Amerikanischen Regierung auf 200 Mrd. US-Dollar beziffert, – die Münchner Rück weist nur die direkt versicherten Schäden aus, die sich auf etwas 15-20 Mrd. belaufen (siehe Münchner Rück 2006) – es kam zu Wachstumseinbußen in den USA in Höhe von 0,2-0,4%. Doch zusätzlich zu den durch die Versicherungsunternehmen bezifferten Schäden müssen Schäden der Infrastruktur, Krankheit durch das Ausbrechen von Seuchen, Todesfälle, Schäden der Landwirtschaft (bei Überflutungen) und der Ökologie berücksichtigt werden. Diese Schäden sind vom Staat aufzuwenden, es sind Ausgaben, die an anderer Stelle der Volkswirtschaft fehlen. Allerdings können durch den Wiederaufbau beschädigter Infrastruktur und Immobilien auch Branchen, wie die Baubranche profitieren (ca. +0,1% des BSP im Jahr 2005). Bei dem Extremereignis des Hurrikans *Katrina* kam erschwerend hinzu, dass durch die Beschädigung von Ölbohrplattformen es zu Ölangebotsausfällen kam und damit der Ölpreis stark angestiegen ist. Aus diesem Grund sind die volkswirtschaftlichen Schäden insgesamt sehr viel höher als von den Versicherungsunternehmen beziffert. Würde man diese Schäden mit hineinrechnen, wären die ökonomischen Schäden auf ca. 450 Mrd. USD zu beziffern, ca. 2-3% des Bruttonationalprodukts der USA im Jahre 2005.

Volkswirtschaftliche Schäden wachsen um das zehn- bis hundertfache

Die ökonomischen Schäden extremer Wetter-Ereignisse sind in den letzten drei Jahrzehnten um den Faktor fünfzehn gestiegen⁶. Im Jahre 2002 bezifferte die Versicherung der Münchner Rück die globalen Schäden auf 55 Mrd. US-Dollar. Der kräftige Anstieg der Schäden ist auch damit zu erklären, dass zunehmend die vom Klimawandel besonders betroffe-

4 Hohe Flusswassertemperaturen bringen die Gefahr einer unzureichenden Kühlung der Atomreaktoren mit sich. Im Jahre 2003 führte dies dazu, dass Atommeiler in Deutschland und Frankreich stillgelegt werden mussten.

5 Kemfert: Die Kosten des Klimawandels; Kemfert: Die andere Klima-Zukunft.

6 Münchner Rück: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2007.

nen Küstenregionen immer stärker besiedelt werden. Zudem nehmen die Sturmintensitäten zu, und die Stürme treten vermehrt in dicht besiedelten Gebieten auf.

In der weiteren Fortschreibung des ökonomischen Trends der Daten der Münchner Rück würden die Schäden bis zum Jahre 2050 um das Zehnfache steigen und dann einen Wert von über 600 Mrd. Euro aufweisen. In den von Naturkatastrophen gefährdeten Gebieten (wie Hochwasserregionen oder Küstenzonen usw.) werden Versicherungen bei steigenden Eintrittswahrscheinlichkeiten von Naturkatastrophen immer weniger bereit sein, möglichen Schäden zu versichern.⁷

Der für sehr viel Aufmerksamkeit sorgende Bericht der britischen Regierung unter der Schirmherrschaft von Sir Nicolas Stern untersucht ebenfalls die möglichen volkswirtschaftlichen Effekte des Klimawandels.⁸ Er kommt zu dem Schluss, dass der Klimawandel erhebliche volkswirtschaftliche Kosten verursachen wird, in der Höhe von bis zu 20% des Bruttosozialprodukts bis zum Jahre 2100 (Abbildung 1). Damit kann der Klimawandel die weltweiten Volkswirtschaften in eine Rezession führen. Die Kosten des Handelns, d.h. der Emissionsminderung, sind deutlich geringer. Wenn die Weltnationen im Rahmen eines internationalen Emissionsrechtehandels kooperieren, können die Kosten 1% des weltweiten Bruttosozialprodukts betragen, sagt der Stern-Bericht.

Anhand des globalen Simulationsmodells WIAGEM, welches ein detailliertes Ökonomie- und Handelsmodell mit einem Klimamodell koppelt, können die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels geschätzt werden.⁹ Neben direkten ökonomischen Auswirkungen auf die Energieerzeugung, die Landwirtschaft und die Industrie werden hier zusätzlich Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökologie (wie z.B. die Zunahme von Waldbränden und Verluste an Artenvielfalt) aber auch gesundheitlich-ökonomische Aspekte von Krankheiten und Sterblichkeitsänderungen berücksichtigt. Vergangene Studien zeigen, dass gerade die Abschätzung solcher Schäden mit extremen Unsicherheiten behaftet ist.¹⁰ Wir berücksichtigen ein Szenario, welches eine Temperaturänderung von 4,5°C bis zum Jahre 2100 unterstellt (Treibhausgaskonzentration steigt auf 650 ppmv). Global können in einem solchen Szenario Schäden bis zu 4% des globalen Bruttosozialprodukts auftreten.¹¹ Diese Ausga-

7 Zum Beispiel Gebäudeversicherungen bei Hochwasser oder Stürmen an küstennahen Gebieten.

8 Stern: The Stern Review.

9 Kemfert: Global Integrated Assessment; Kemfert: Global Economic Implications.

10 OECD: Estimating the Benefits.

11 IPCC: Climate Change 2007.

ben fehlen in der Volkswirtschaft an anderer Stelle (*crowding out*), was die ökonomischen Wachstumseffekte mindert und wiederum zu zusätzlichen Wohlfahrtseinbußen führt. Die Ergebnisse für Deutschland zeigen, dass zudem erhebliche Kosten auf die deutsche Volkswirtschaft zukommen, bis zu 800 Mrd. US-Dollar müsste die deutsche Volkswirtschaft in den kommenden 50 Jahren nur für die Behebung von Klimaschäden aufwenden; das sind ca. 3% des Bruttosozialprodukts in dieser Zeit. Und diese Kosten werden weiter steigen, wenn kein Klimaschutz betrieben wird. Die Kosten des Handelns, d.h. der Treibhausgasminderung, sind deutlich geringer. Wenn die Hauptverursacher des Klimawandels Kooperationen in technologische Innovationen erzielen und gemeinsam einen Emissionshandel etablieren, können die Kosten bis 1% des BSP betragen. Damit sind die Kosten des Handelns deutlich geringer als die Kosten des Nichthandelns. Wenn sofort mit Klimaschutzpolitik begonnen werden würde, würden enorme Schäden vermieden werden. Eine Klimaschutzpolitik, die erst im Jahre 2030 beginnt, würde zu einer gefährlichen Beeinflussung des Klimas führen.

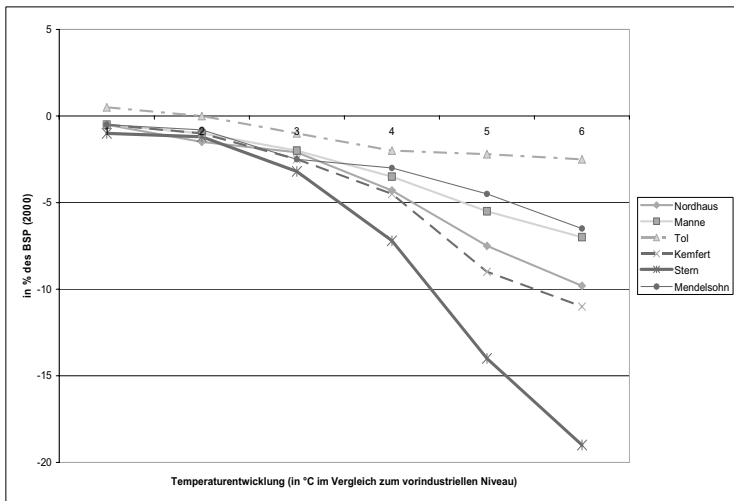


Abb. 1: Weltweite ökonomische Schäden gemessen in % des Bruttosozialprodukts [Quellen: OECD: Estimating the Benefits; Stern: The Stern Review; Kempfert: Die Kosten des Klimawandels]

Klimawandel – was können wir tun?

Um den Klimawandel abzumildern oder gar zu verhindern, müssen die Treibhausgasemissionen drastisch gesenkt werden. Klimaexperten gehen davon aus, dass eine Reduktion der Treibhausgase um 60-80% bis zum Jahre 2100 notwendig wäre. Aufgrund der Langlebigkeit der Treibhausgase in der Atmosphäre müssen die verantwortlichen Staaten möglichst schnell mit dieser starken Reduktion beginnen. Hauptverantwortliche Staaten sind die USA, die für den Großteil aller weltweit emittierten Treibhausgase verantwortlich sind, gefolgt von China, Europa, Russland und Japan. Eine wirksame Klimaschutzpolitik muss vor allem Ländern mit hohen Treibhausgasemissionen verbindliche Ziele zur Emissionsvermeidung abverlangen. Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls haben sich zwar die meisten Industrieländer zu einer – insgesamt sehr moderaten – Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen bis zur Periode 2008/ 2012 verpflichtet. Allerdings verlaufen die Bemühungen um wirksame international abgestimmte Klimaschutzmaßnahmen zäh und es erscheint zweifelhaft, ob es gelingen wird, konkrete und verbindliche Emissionsziele auch für die Zeit nach dem Ende der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls im Jahre 2012 durchzusetzen. Während Deutschland und die Europäische Union auf bindende Verpflichtungen zum Klimaschutz drängen und selbst bereits zahlreiche Maßnahmen ergriffen haben, verweigern sich andere Länder wie die USA und China diesen Forderungen. Dabei wäre es im Rahmen internationaler Klimaschutzabkommen dringend notwendig, dass die Industrienation USA sich an einem Klimaabkommen beteiligt, um dann auch Länder wie China und Indien mit einer Vorbildfunktion vom Handeln zu überzeugen.

Wirksame Klimaschutzpolitik mit Kooperationen

Nur wenn es gelingt, im Rahmen internationaler Klimaschutzpolitik so zu kooperieren, dass Klimaschutzziele zu möglichst geringen Kosten erreicht werden, wird es mittel- bis langfristig möglich sein, gezielt Anreize für Nationen mit hohen Emissionen und damit hohen Vermeidungskosten, wie den USA und China, zu schaffen, einem Klimaschutzabkommen beizutreten. Dabei sind verschiedene Anreizmechanismen denkbar: Länder, die zur Klimaschutzkooperation bewegt werden sollen, können entweder direkt über sog. *Side Payments*, d.h. monetäre Zahlungen z.B. aus gezielten Klimaschutz-Fonds, dazu bewegt werden, Klimaschutzzie-

le einzugehen.¹² Denkbar wären hier konkrete finanzielle Entlastungen bei gezieltem Klimaschutz. Carl Christian von Weizsäcker hat vorgeschlagen, dass reiche Länder Emissionsrechte aufkaufen und einem Fond zukommen lassen, um einen bestimmten Preis (10€ pro Tonne CO₂) zu erzielen und um Wettbewerbsverzerrungen durch variierende Preise zu vermindern.¹³ So könnten neue Technologien, wie die CCS (*Carbon Capture and Sequestration*) Technologie einsatzfähig werden und somit auf eine gezielte Förderung von erneuerbaren Energien ganz verzichtet werden. Obwohl dies eine sehr interessante Idee ist, ist ja gerade die Intention eines globalen Emissionsrechtehandels, Vermeidungskosten zu minimieren. Hier sollte der Markt frei entscheiden, welcher Preis diesen Kosten entspricht. Die CCS Technologie ist sicher eine langfristige Option, eine Förderung von erneuerbaren Energien gerade zur Erzielung von Emissionsminderungsstrategien bleibt unerlässlich.

Zudem ist es denkbar, zögernde Nationen zu überzeugen, einem Klimaschutzabkommen beizutreten, indem Sanktionen auferlegt werden, wie beispielsweise Handelsbeschränkungen (z.B. von Kohle der USA). Quantitative Untersuchungen zeigen aber, dass dies nicht nur zu negativen volkswirtschaftlichen Auswirkungen der betroffenen Nationen führt, sondern auch für die Nationen, die die Handelssanktionen eingeführt haben.¹⁴

Erfolgsversprechender sind im Rahmen internationaler Klimaschutzpolitik solche Maßnahmen, die Emissionsminderungsziele zu minimalen volkswirtschaftlichen Kosten erreichen. Durch den Emissionshandel können die Vermeidungskosten der Industriestaaten erheblich vermindert werden. Länder, die ein internationales Klimaschutzziel erreichen wollen, können dies mit der Einführung eines Emissionsrechtehandels kosteneffizient erreichen. Zudem kann es sinnvoll sein, gemeinsam technologische Neuerungen zur Energieeffizienzverbesserungen zu erforschen, welche ebenso die Emissionsminderungskosten vermindern.¹⁵ So können beispielsweise durch gezielte Kooperation in Forschungsarbeiten zur technologischen Entwicklung die kooperierenden Länder einen Wettbewerbsvorteil erzielen, welche sich an der Erforschung beteiligen.

Damit wird der Erfolg von Klimaschutzpolitiken nach 2012 von drei entscheidenden Faktoren abhängen: *Erstens*, konkrete globale Emissionsminderungsziele; *zweitens*, Kooperation und Kosteneffizienz. Nur wenn es gelingen wird, die Emissionsvermeidungskosten so gering wie möglich zu halten, wie durch den Einsatz eines Emissionsrechtehandels und

12 Carraro: The structure of International Agreements.

13 von Weizsäcker: Was kommt nach ›Kyoto?‹.

14 Kemfert: International Climate Coalitions.

15 Kemfert: International Climate Coalitions.

drittens gezielte Kooperation in technologische Entwicklungen, wird eine weitere internationale Klimaschutzpolitik Erfolg haben.

Kosteneffizienz durch weltweiten Emissionshandel

Der bereits im Kyoto-Protokoll eingeführte Emissionshandel vermindert die Kosten der Emissionsminderung drastisch.¹⁶ Im Rahmen des Kyoto-Protokolls liegt dies in erster Linie daran, dass Russland aufgrund wirtschaftlicher Einbußen nach 1990 die Emissionen bereits weit unter das Niveau von 1990 hat senken können. Damit ist Russland in der Kyoto-Verpflichtungsperiode in der Lage, Emissionen zu verkaufen, sodass es für solche Länder, die relativ hohe Vermeidungskosten haben, wie Europa und Japan, kostengünstiger sein kann, Emissionsrechte zu erwerben.

Im Rahmen weiterer Klimaschutzvereinbarungen nach Kyoto, also nach dem Jahre 2012, wird es nun entscheidend sein, dass weitere Emissionsminderungen möglichst kostengünstig erreicht werden können. »Kyoto Plus« muss zwei wichtige Komponenten enthalten: verbindliche Minderungsziele für alle Industriestaaten und Kosteneffizienz *erstens* durch einen internationalen Emissionshandel, indem stark wachsende Volkswirtschaften sich beteiligen und *zweitens* durch Kooperation in technologische Entwicklungen.

Eine Klimaschutzpolitik mittels eines Emissionsrechtehandels innerhalb der Industrieländer würde Kosten in Höhe von knapp 1 Billion US-Dollar bis zum Jahre 2050 verursachen (knapp 0,35% des BSP der Industrieländer). Der Emissionszertifikatpreis würde hier 51 US-Dollar pro Tonne Kohlendioxid betragen. Wenn China dem Emissionshandel beiträgt, können in den Industriestaaten Kosten in Höhe von bis zu 259 Mrd. US-Dollar vermieden werden (Vermeidung ca. 0,1% des BSP der Industrieländer). Wenn andere Länder einem Emissionshandel beitreten, könnten Kosten sogar in Höhe von knapp 500 Mrd. US-Dollar vermieden werden (Vermeidung ca. 0,18% des BSP der Industrieländer). Der Emissionszertifikatpreis würde sich auf 37 bzw. sogar um die Hälfte auf 25 US-Dollar pro Tonne Kohlendioxid vermindern. Ein zusätzlich positiver Effekt ist, dass die Entwicklungsländer durch den Verkauf von Emissionsrechten erhebliche Einnahmen erzielen, was sich positiv auf die Wirtschaft auswirkt (Wachstumsschub von 0,1% pro Jahr).

16 Carraro: The structure of International Agreements; Löschel: Technological Change.

Kosteneffizienz durch technologische Kooperationen

Eine Vermeidung des Klimawandels ist nur dann möglich, wenn die Treibhausgasemissionen auf nahezu heutiges Niveau eingefroren werden. Der IPCC geht davon aus, dass die notwendigen Technologien zur Erreichung dieses Ziels vorhanden sind und nur gezielt eingesetzt werden müssen.¹⁷ Auch der WBGU geht davon aus, dass in der Zukunft ein erheblicher Anteil an erneuerbarer Energien eingesetzt werden muss.¹⁸

Es existiert derzeit eine lange Liste an technologischen Optionen zur Emissionsminderung, wie auch Wissenschaftler aus Princeton in einem Forschungsartikel in der *Science* aufgelistet haben.¹⁹ In erster Linie spielten hierbei Energieeffizienzverbesserungen, sowohl in der Energieerzeugung, wie auch im Transportbereich, eine erhebliche Rolle. Zudem sehen die Autoren im Bereich der Energieerzeugung, dass die Kohlekraftwerke durch Gas-, Wind-, Atom- und Solarkraftwerke ersetzt werden könnten und zudem die Möglichkeit der Kohlenstoffabscheidung und Sequestrierung eingesetzt werden sollte. Zudem könnte der Biomasseanteil zur Stromerzeugung erhöht werden und durch eine veränderte Bewirtschaftung der Wälder eine Erhöhung der Aufnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre gesteigert werden.

Es ist sicher richtig, dass die ambitionierten Emissionsminderungsziele auch ohne bahnbrechende technologische Neuerungen erreicht werden können. Aber auch hier gilt: gezielte Emissionsminderungsziele müssen zur Erreichung der Kosteneffizienz beitragen. Ohne konkrete Emissionsminderungsziele werden nicht die notwendigen Signale zu langfristigen Investitionen in neue Technologien gegeben. Wenn zu spät die notwendigen Klimaschutzziele festgelegt werden, kann es zu erheblichen Fehlinvestitionen kommen, die als *stranded investments* zu volkswirtschaftlichen Einbußen führen können. In der Energieerzeugung stehen in Kürze umfangreiche Ersatzinvestitionen an. Allein in Deutschland kann es hier zu Fehlinvestitionen in Höhe von bis zu 60 Mrd. Euro kommen, in Europa von bis zu 350 Mrd. Euro.

Verbindliche Emissionsminderungsziele geben die notwendigen Signale und führen damit zu einer frühzeitig kosteneffizienten Investition. Wenn beispielsweise der Emissionshandelspreis auf über 30 Euro pro Tonne Kohlenstoff ansteigt, kann die Technologie der CO₂-Abscheidung und -sequestrierung durchaus rentabel werden im Vergleich zu herkömm-

17 IPCC: Climate Change 2007.

18 WBGU: Welt im Wandel.

19 Pacala/Socolow: Stabilisation Wedges.

mlicher fossiler Energieerzeugung.²⁰ Durch die Knappheit von Öl und Gas wird es in den kommenden zwei Dekaden zu erheblichen Preissteigerungen beider Rohstoffe kommen und damit können emissionsarme Technologien schnell kosteneffizient werden.

Sowohl aus der Klimaschutzperspektive als auch aus der Kosteneffizienzperspektive sind hier globale Aktivitäten notwendig. Gezielte Kooperationen in technologische Entwicklungen können zudem Anreize schaffen, einem Klimaschutzabkommen beizutreten.²¹ Die gezielte Kooperation in technologische Entwicklungen ist gerade für stark wachsende Volkswirtschaften wie China und Indien besonders wichtig.

Wege aus dem Marktversagen

Politische Entscheidungen für mehr Klimaschutz sind elementar. Europa hat sich in einem historisch einmaligen Schritt dazu entschlossen, die Treibhausgasemissionen um 20% zu senken und zugleich den Anteil erneuerbarer Energien deutlich zu erhöhen. Ein breites Maßnahmenpaket für mehr Klimaschutz ist jedoch wichtig, um die Klimaschutzkosten möglichst gering zu halten. So müssen neben Energieeffizienzmaßnahmen – vor allem für Gebäude und Fahrzeuge – zunehmend marktwirtschaftliche Instrumente wirkungsvoll eingesetzt werden. Der Emissionsrechtehandel ist prinzipiell ein gelungenes Instrument, allerdings müssten die Emissionsrechte versteigert, möglichst viele Sektoren und Länder einbezogen, sowie deutlichere Emissionsobergrenzen vorgeben werden. Nur wenn der Emissionsrechtehandel richtig funktioniert, könnte er bewährte Steuer-Instrumente, wie die Ökosteuer, ablösen. Zudem müssten weitere Instrumente, gerade im Verkehrssektor eingeführt werden, wie beispielsweise die CO₂ bezogene KFZ-Steuer. Aber vor allem spielt die Verbesserung der Energieeffizienz eine entscheidende Rolle. Das Maßnahmenpaket der Bundesregierung vom Dezember 2007 verdeutlicht, dass Energiesparen, vor allem im Gebäudebereich, eine wichtige Rolle spielt. Neben gezielter Gebäudedämmung werden auch die erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung immer wichtiger werden. Baden-Württemberg geht mit gutem Beispiel voran: Für Neubauten will Baden-Württemberg 20% des Wärmebedarfs mit erneuerbaren Energien abdecken. Diese Investitionen bedeuten zwar zusätzliche Kosten für Haus- und Wohnungseigentumsbesitzer, jedoch profitiert die Baubranche von zusätzlichen Investitionen. Volkswirtschaftlich ist das Programm lohnend: Jeder Haushalt

20 Kemfert/Schumacher: Klimaschutz im deutschen Strommarkt.

21 Edenhofer u.a.: Induced technological change.

muss in den kommenden 10 Jahren durchschnittlich 8 Euro mehr für Energiesparmaßnahmen aufwenden, spart aber Energieausgaben ein, durchschnittlich von bis zu 10 Euro im Monat. Die Baubranche ist ohnehin die Branche, die im Gegensatz zu vielen anderen Branchen deutlich von Klimaschutzmaßnahmen, insbesondere von der Verbesserung der Gebäudeisolierung profitieren kann.

Zudem müssen die erneuerbaren Energien zur Stromherstellung und Kraft-Wärme-Kopplung weiterhin gefördert werden. Wie das Beispiel der Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland zeigt, kann der Klimaschutz durchaus positive wirtschaftliche Auswirkungen erbringen. Im Bereich der erneuerbaren Energien arbeiten heute in Deutschland 125.000 Beschäftigte, die Tendenz ist stark ansteigend. Die deutsche Wirtschaft profitiert von dieser Entwicklung, da innovative Energietechniken *made in Germany* weltweit zum Absatzschlager werden können. Dies gilt im Übrigen auch für andere innovative CO₂-freie Energietechniken, wie beispielsweise umweltfreundliche Kohletechniken. Nur wenn es Europa und Deutschland gelingt, zu zeigen, dass Klimaschutz zu vertretbaren volkswirtschaftlichen Kosten und mit eindeutigen komparativen Marktvorteilen erreichbar ist, werden andere Staaten dem Beispiel folgen. Dann werden auch Länder wie die USA und China einem internationalen Klimaabkommen beitreten können.

Der Klimaschutz wird eine immer bedeutsamere Rolle spielen. Zudem werden fossile Ressourcen wie Öl und Gas zunehmend knapp und müssen ersetzt werden.

Richtig ist die Forderung zu weiterer Treibhausgasminderung, denn jemand muss die Vorreiterrolle übernehmen – zeigen, dass es funktionieren kann, dass die Minderung von Treibhausgasen zu vertretbaren volkswirtschaftlichen Kosten erreichbar sein kann, dass eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch möglich ist. Allerdings: Es wird kaum möglich sein, die Energieversorgungsstruktur, die in Deutschland immerhin 40% der Emissionen ausmacht, so schnell ›CO₂-frei‹ zu machen: Nuklearkraftwerke werden in erster Linie durch Kohlekraftwerke, weniger durch Gaskraftwerke ersetzt. Mit dem Ausstieg aus der Atomenergie werden somit heute eher Anreize gegeben, in herkömmliche Kohletechnologie zu investieren, die zwar, zugegebenermaßen, effizienter ist als die alten Kraftwerke, aber nicht ›CO₂-arm‹ sind – diese Technik scheint möglich – aber wohl kaum vor 2020. Der Emissionsrechtehandel kann hier zwar die richtigen Signale senden, aber dieser müsste dann noch höhere Minderungsziele erwirken, die Emissionsrechte versteigern und zudem den Flugverkehr mit einbeziehen. Denn gerade

im Verkehrssektor ist bisher zu wenig passiert: Selbst ein hoher Ölpreis führt kaum dazu, dass weniger gefahren wird; die Automobilhersteller sind kaum dazu zu bewegen, von sich aus spritsparende Motoren oder alternative Kraftstoffe serienmäßig einzusetzen – warum zwingt man sie denn nicht, dies zu tun? Wenn schon die deutschen Topmanager der großen Automobilhersteller nicht die Zeichen der Zeit erkennen und sich damit freiwillig in die mittelfristige Absatzkrise bewegen, sollte man nachhelfen und – aus Klimaschutzgründen, aber auch aus dem volkswirtschaftlichen Überlebenswillen heraus – entsprechende Vorgaben machen. Sicherlich wird man es mit der Effizienzinitiative schaffen, Emissionen – gerade im Gebäudebereich – zu vermindern. Deutschland kann jedoch etwas Wichtiges tun: Als ›Land der Ingenieure‹ sollte Deutschland viel mehr Geld in die Erforschung innovativer und CO₂-freier Energietechnologie investieren. Diese Technologie wird dann zum weltweiten Absatzschlager und baut Wachstumspotentiale auf – und fördert damit Beschäftigung. Damit könnten weltweit die Emissionen gesenkt werden – was aus Klimaschutzgründen dringend notwendig ist.

Zukünftig wird man mehr Geld für die Beseitigung von Klimaschäden aufbringen müssen. Das ist Geld, was an anderer Stelle der Volkswirtschaft fehlt. Wenn allerdings weltweit die Treibhausgase stark reduziert werden, werden auch die Klimaschäden geringer sein. Dennoch wird man den Klimawandel nicht ganz eindämmen: Kosten für die Vorsorge und Anpassung werden auch aufzubringen sein. Dann wird es künftig – hoffentlich bald – alternative Energien sowohl in der Stromerzeugung als auch im Bereich Mobilität geben. Künftig wird es dann auch ›richtigere‹ Preissignale geben: Fliegen muss teuer werden, Bahnfahren billiger, Energieerzeugung und Sprit sollten ›CO₂-frei‹ sein, die Gebäude sollten so gedämmt und Geräte so energieeffizient werden, dass kaum noch Energie notwendig ist – so wird die Zukunft – hoffentlich – aussehen.

Fazit

Der anthropogene, d.h. durch den Menschen verursachte Klimawandel wird weiter voranschreiten, wenn es nicht gelingt, das Volumen der globalen Treibhausgasemissionen zu senken. In der Folge haben extreme Naturkatastrophen wie massive Regenfälle und dadurch verursachte Überschwemmungen, Hitzewellen und Stürme steigender Intensität in Anzahl und Stärke deutlich zugenommen. Irreversible und gefährliche Klimaschäden werden dann auftreten, wenn die Treibhausgaskonzentration die Grenze von 450 ppm überschreitet und im Jahre 2100 die globale Oberflächentemperatur mindestens 2°C über dem vorindustriellen Ni-

veau liegt. Um dies zu vermeiden, wäre eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration auf dem heutigen Niveau notwendig. Das IPCC fasst die wissenschaftliche Literatur zum Klimawandel zusammen und kommt zu immer besorgniserregenderen Ergebnissen. Die volkswirtschaftlichen Schäden können global eine Höhe von bis zu 6% des globalen Bruttosozialprodukts erreichen. Die Emissionsminderungskosten wären ungleich geringer, gerade wenn möglichst rasch mit der Emissionsreduktion begonnen wird.

Literatur

- Carraro, C.: The Structure of International Agreements on Climate Change, in: Carraro, C. (Hg.): *International Environmental Agreements on Climate Change*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1999.
- Edenhofer, O./Lessmann, K./Kemfert, C./Grubb, M./Koehler, J.: Induced technological change: exploring its implications for the Economics of Atmospheric stabilization, in: *The Energy Journal* 27 (2006), Special Issue, S. 57-107.
- Haites, E./Yamim, F./Blanchard, O./Kemfert, C.: Implementing the Kyoto Protocol without Russia, in: *Climate Policy* 4 (2004), S. 143-152.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC): *Climate Change 2001, Third Assessment Report, Synthesis Report*, Cambridge University Press, Cambridge 2001.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC): *Climate Change 2007. Fourth Assessment Report, Synthesis Report*, Cambridge: Cambridge University Press 2007.
- Kemfert, C.: *Die andere Klima-Zukunft. Innovation statt Depression*, Hamburg: Murmann Verlag 2008.
- Die Kosten des Klimawandels: Der Mensch heizt die Erde auf – was muss er dafür bezahlen? in: *Internationale Politik*, Februar 2007, S. 38-45.
- International Climate Coalitions and trade – Assessment of cooperation incentives by issue linkage, in: *Energy Policy* 4 (2004), Bd. 32, S. 455-465.
- Global Economic Implications of alternative Climate Policy Strategies, in: *Environmental Science and Policy* 5 (2002), S. 367-384.
- An Integrated Assessment Model of Economy-Energy-Climate – The model WIAGEM, in: *Integrated Assessment* 4 (2002), Bd. 3, S. 281-299.
- Kemfert, C./Truong, P.T./Brucker, T.: Economic Impact Assessment of Climate Change: A Multi-Gas Investigation, in: *The Energy Journal*,

- Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy, Special Issue 3 (2006), S. 441-460.
- Kemfert, C./Schumacher, K.: Klimaschutz im deutschen Strommarkt: Chancen für Kohletechnologien durch CO₂-Abscheidung und –Speicherung? in: *Wochenbericht des DIW* 16 (2005), S. 243-248.
- Löschel, A.: Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey, in: *Ecological Economics* 43 (2002), H. 2-3, S. 105-126.
- Münchener Rück: *Jahresrückblick Naturkatastrophen 2006*, München 2007.
- *Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002*, München 2002.
- OECD: *Estimating the Benefits of Climate Change Policy*, ENV/EPOC/GSP 3 (2003), Paris.
- Pacala, S./Socolow, R.: Stabilisation Wedges: Solving the Climate Problem for the next 50 Years with Current Technologies, in: *Science*, Bd. 305 (2004), S. 968-972.
- Stern, N.: *The Stern Review: The Economics of Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press 2006.
- von Weizsäcker, C.: Was kommt nach ›Kyoto‹? Konturen eines künftigen ›echten‹ Klima-Abkommens, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 12 (2004), S. 782-785.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen (WBGU): *Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit*, Berlin 2003, S. 94-98.