

Sven Schulze\*

## Anpassung an den Klimawandel von zunehmender Bedeutung

Die Ökonomie des Klimawandels befasste sich anfangs vor allem mit der Vermeidung des Klimawandels. In jüngerer Zeit rückt die Anpassung an die Folgen aber verstärkt in den Mittelpunkt von wissenschaftlichen Untersuchungen und öffentlicher Diskussion, denn bestimmte Klimafolgen gelten mittlerweile als unvermeidlich. Diese Klimafolgen wirken sich sowohl auf Regionen als auch auf Wirtschaftszweige unterschiedlich stark aus. Am Beispiel Norddeutschland wird die Problematik hier verdeutlicht.

Der Klimawandel ist aus der medialen Berichterstattung nicht mehr wegzudenken. Alleine die Oberthemen sind dabei vielfältig und provozieren häufig emotionale Debatten: Findet tatsächlich ein Klimawandel statt oder handelt es sich nur um eine wissenschaftliche Fiktion? In welchem Ausmaß werden Klimaänderungen durch menschliches Verhalten überhaupt beeinflusst? Werden durch die Diskussion über den Klimawandel andere wichtige globale Probleme vernachlässigt und bewirkt dies den ineffizienten und ineffektiven Einsatz von Ressourcen? Dieser Beitrag lenkt den Fokus auf eine andere Fragestellung: Wenn man die Existenz eines künftigen Klimawandels mit hoher Wahrscheinlichkeit akzeptiert, wie sollte man aus ökonomischer Perspektive damit umgehen? Um diese Frage zu beantworten, sind sukzessive die möglichen Folgen des Klimawandels, dessen ökonomische Effekte und gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren. Da die genannten Aspekte für Regionen und Sektoren sehr unterschiedlich ausfallen können, wird zur Verdeutlichung an einigen Stellen beispielhaft auf die spezielle Situation in Norddeutschland eingegangen.<sup>1</sup>

### Vermeidung und Anpassung

Der anthropogene Klimawandel schafft für die Menschheit zwei große Aufgabenfelder: erstens die Vermeidung („mitigation“) eines von der Naturwissenschaft als gefährlich eingestuften Klimawandels und zweitens die Anpassung („adaptation“) an die bereits nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels.

Das Gros der Literatur und der Debatte zum Klimawandel beschäftigt sich seit langer Zeit – und auch weiterhin – mit

dem Vermeidungsaspekt, also dem Thema des Klimaschutzes. Hintergrund ist die verbreitete Einschätzung, dass eine Erhöhung der globalen Mitteltemperatur um mehr als 2°C gegenüber dem vorindustriellen Wert eine nicht tolerable Veränderung des Weltklimas darstellt und irreversible Schäden verursachen wird. Demnach erachten viele Wissenschaftler, aber auch Nicht-Regierungsorganisationen sowie die EU, die G8 und mehr als die Hälfte der Unterzeichnerstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) die Verfolgung des sogenannten 2°C-Ziels für sinnvoll. Auch ökonomisch lässt sich dieses Ziel rechtfertigen, da die wichtigsten integrierten Bewertungsmodelle jenseits von einer Erderwärmung um 2°C globale Wohlfahrtsverluste errechnen.<sup>2</sup> Das Erreichen dieses Ziels setzt voraus, dass die Emission von Treibhausgasen, die für den von Menschen verursachten Klimawandel verantwortlich gemacht werden, bis zum Jahr 2050 um mehr als 50% gegenüber dem Niveau von 1990 reduziert wird.<sup>3</sup> Dies bedürfte tiefgreifender und wirtschaftspolitisch induzierter Verhaltensänderungen aller Wirtschaftsakteure. Entsprechend schwierig gestalten sich aber die Versuche, die globalen externen Effekte der Treibhausgasemissionen zu internalisieren.

Der Klimagipfel in Kopenhagen im Dezember 2009 (oder genauer die 15. Konferenz der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen bzw. COP15) hat verdeutlicht, dass eine internationale Verhandlungslösung kaum zu realisieren ist, in der sich alle Staaten zu verbindlichen Emissions- oder Reduktionszielen verpflichten. Die Gründe sind zu facettenreich, um sie an dieser Stelle ausführlich zu diskutieren. Als zentrale Fragestellungen erwei-

\* Der vorliegende Artikel wurde im Rahmen des Verbundprojektes KLIMZUG-NORD verfasst. Dieses wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

1 Unter die Region Norddeutschland fallen hier die deutsche Ost- und Nordseeküste sowie die Metropolregionen Hamburg, Berlin-Brandenburg und Bremen-Oldenburg.

2 Vgl. R. Tol: The economic effects of climate change, in: Journal of Economic Perspectives, Vol. 23, Nr. 2, 2009.

3 Vgl. M. Meinshausen, N. Meinshausen, W. Hare, S. C. B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D. J. Frame, M. Allen: Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2°C, in: Nature, doi: 10.1038/nature08017, 2009.

**Dr. Sven Schulze** ist Senior Economist am Hamburger WeltWirtschaftsinstitut (HWWI).

sen sich aber stets verschiedene Verteilungsaspekte. So emittieren die Industrienationen den überwiegenden Teil der Treibhausgase, während die Folgen des Klimawandels überdurchschnittlich stark die Entwicklungs- und Schwellenländer treffen werden. Demnach ist zu klären, wer die wesentlichen wirtschaftlichen Lasten der Vermeidung trägt, wer die finanziellen Mittel für die Milderung der Folgen aufzubringen hat und wie diese unter den Empfängern aufzuteilen sind. Allgemein wird anerkannt, dass nur noch eine bestimmte Intensität des Klimawandels vermieden werden kann und dessen Konsequenzen werden zunehmend sichtbar. Dies hat in den vergangenen Jahren zu einer größeren Beachtung des Anpassungsaspektes geführt.

#### **Bedeutungsgewinn der Anpassungsforschung**

Dass die Anpassungsforschung in jüngerer Zeit an Bedeutung gewonnen hat, lässt sich an der rasch anwachsenden Literatur zu diesem Thema erkennen. Während beispielsweise der zweite Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1995 für den Gliederungspunkt der Anpassungsoptionen nur vier Seiten verwendete, widmeten die Folgeberichte 2001 und 2007 jeweils ein beziehungsweise mehrere Kapitel diesem Thema. Auch auf der politischen Ebene hat sich mittlerweile einiges getan. Die Anpassung an den Klimawandel spielte in Kopenhagen eine größere Rolle als auf den Vorgängerkonferenzen. Die EU-Kommission hat nach dem Grünbuch am 29. Juni 2007 am 1. April 2009 das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ veröffentlicht. In Deutschland hat die Bundesregierung bereits am 17. Dezember 2008 die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ beschlossen. Für das Frühjahr 2011 ist als nächster Schritt die Vorstellung eines Aktionsplanes Anpassung geplant. In den politischen Prozess und in das Bewusstsein einiger Handelnder hat die Notwendigkeit der Anpassung an den Klimawandel also mittlerweile Eingang gefunden.

Der Klimawandel ist zwar ein globales Phänomen, jedoch sind seine Konsequenzen in den einzelnen Ländern und Regionen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Ferner sind auch einzelne Wirtschaftssektoren und sogar Wirtschaftssubjekte unterschiedlich stark betroffen. In all diesen Bereichen bestehen außerdem jeweils unterschiedliche Fähigkeiten

sich anzupassen. Generell haben Anpassungsmaßnahmen gegenüber Vermeidungsanstrengungen den Vorteil, dass sie hinsichtlich der Entscheidungs-, Planungs- und Umsetzungsebene geringere Probleme verursachen. Zwar mag die supra-nationale oder die nationale Ebene dadurch Einfluss auf Anpassungsentscheidungen nehmen, dass sie die Rahmenbedingungen setzt. Jedoch werden Anpassungsmaßnahmen tendenziell stärker regional und lokal geplant und umgesetzt, weil hier das Wissen um etwaige Besonderheiten vor Ort am größten ist. Darüber hinaus ist auch die Neigung zu autonomem Verhalten bei der Anpassung gegenüber der Vermeidung größer, weil die Konsequenzen von Handeln und Nicht-Handeln unmittelbar spürbar sind. Insgesamt ist mithin zu erwarten, dass Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel – sei es im Einzelnen oder als Bestandteil eines konsistenten regionalen Programms – leichter zu implementieren sind als Vermeidungsmaßnahmen, die, um zum Erfolg zu führen, unausweichlich in einen internationalen Rahmen eingebettet sein müssen.

Allerdings ist die Identifikation und Auswahl der relevanten Anpassungsmaßnahmen alles andere als trivial. Im Folgenden werden beispielhaft die zu erwartenden Klimaänderungen in Norddeutschland, deren mögliche Folgen und ökonomische Erwägungen zu denkbaren Anpassungsmaßnahmen diskutiert.

#### **Ein regionales Beispiel: Klimaänderungen in Norddeutschland<sup>4</sup>**

Gemeinhin wird sowohl für Deutschland als auch für seine Teilgebiete ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur im vergangenen Jahrhundert konstatiert. Er liegt bei etwa 1°C. Auch der Vergleich der Durchschnittstemperaturen der ersten und der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts bestätigt diesen trendmäßigen Anstieg. Zudem hat in Norddeutschland eine regionale Verschiebung hin zu trockeneren Klimatypen eingesetzt.

Für das 21. Jahrhundert gibt der Norddeutsche Klimaatlas auf der Grundlage von derzeit insgesamt zwölf regionalen Klimarechenmodellen, die wiederum unterschiedliche Treibhausgaskonzentrationen gemäß IPCC berücksichtigen, die in der Tabelle aufgeführten erwarteten Änderungen klimatischer Daten an. Im Jahresmittel werden demnach ein Anstieg der durchschnittlichen Temperatur bei vermehrtem Auftreten heißer Tage und tropischer Nächte sowie weniger Frosttage erwartet. Während Regenfälle zunehmen dürften, gehen Schneefälle zurück. Zudem wird eine Zunahme der

<sup>4</sup> Die Klimadaten und -szenarien entstammen dem Norddeutschen Klimaatlas (<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>) oder der Entwurfsfassung des Klimaberichtes der Metropolregion Hamburg (herausgegeben von H. von Storch und M. Claußen im November 2009).

mittleren Windgeschwindigkeit und der Zahl der Sturmtage erwartet. All diese Trends verstärken sich im Zeitablauf.

Die Betrachtung der Jahresmittelwerte und des gesamten norddeutschen Raumes blendet allerdings die differenzierteren jahreszeitlichen und regionalen Entwicklungen aus. In der Metropolregion Hamburg wird zum Beispiel eine stärkere Temperaturerhöhung in den Herbst- und Wintermonaten als in den Frühjahrs- und Sommermonaten erwartet. Hinsichtlich der Niederschläge werden starke Niederschlagsabnahmen im Sommer durch die sehr starken Niederschlagszunahmen im Winter mehr als kompensiert. Innerhalb der Metropolregion Hamburg wiederum werden sich Klimaänderungen in der Stadt Hamburg im Vergleich zum Umland erstens durch die übliche Temperaturdifferenz aufgrund des Wärmeinseleffekts auf einem zum Teil höheren Niveau abspielen und zweitens verstärkt auftreten. Dies gilt insbesondere für Extremereignisse wie Starkregen und Sturmfluten, die künftig mit größerer Wahrscheinlichkeit auftreten dürften.

Aus diesen möglichen Entwicklungsszenarien ergibt sich nicht nur, dass sich selbst auf relativ kleinem Raum der Klimawandel unterschiedlich stark auswirkt, sondern auch dass sich die Anpassungsmaßnahmen entsprechend unterscheiden müssen.

### Anpassungszuständigkeiten

Das Oberziel jeglicher Anpassungsmaßnahmen besteht darin, die Verletzlichkeit (Vulnerabilität) gegenüber plötzlichen oder graduellen Veränderungen des Mensch-Umwelt-Systems zu verringern. Im Hinblick auf (regionale) Klimaänderungen geht es mithin darum, Anpassungskapazitäten aufzubauen. Diese beschreiben die Fähigkeit, Anpassungsmaßnahmen planmäßig durchzuführen. Davon abzugrenzen ist die spontane Anpassung, die unabhängig von der Anpassungskapazität ist.<sup>5</sup> Aus ökonomischer Sicht sind zwei Gesichtspunkte von Interesse. Erstens sollten Anpassungsmaßnahmen so ausgestaltet sein, dass die Summe der Kosten aus den erwarteten Schäden durch den Klimawandel und aus den Kosten der Maßnahme minimiert wird. Dies gilt sowohl für spontane als auch für planmäßige Maßnahmen. Zweitens stellt sich die Frage, wer für die jeweilige Planung und Durchführung zuständig ist. Hierfür ist eine Unterscheidung in autonome und kollektive Anpassung zweckmäßig:<sup>6</sup>

5 Vgl. M. Zebisch, T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch, W. Cramer: Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, herausgegeben vom Umweltbundesamt, Dessau 2005.  
 6 Vgl. hierzu A. Dannenberg, T. Mennel, D. Osberghaus, B. Sturm: Anpassung an den Klimawandel – ein Thema auch in Deutschland, in: Wirtschaftsdienst, 89. Jg. (2009), H. 11, S. 724 f.

### Klimaänderung in Norddeutschland<sup>1</sup>

Zeitraum/Eigen-schaft	2011-2040	2041-2070	2071-2100
<b>Temperatur</b>			
Durchschnittliche Temperatur	+0,5°C bis +1,1°C (+0,7°C)	+1,2°C bis +2,3°C (+1,8°C)	+2,0°C bis +4,7°C (+2,9°C)
Heiße Tage (Tageshöchsttemperatur ≥ 30°C)	+0,2 bis +1,1 (+0,6) Tage	+1,2 bis +2,7 (+1,9) Tage	+1,9 bis +13,1 (+5,6) Tage
Tropische Nächte (Niedrigste Nachttemperatur ≥ 20°C)	+0,2 bis +0,6 (+0,3) Tage	+0,3 bis +2,2 (+1,3) Tage	+1,2 bis +20 (+7,6) Tage
Frosttage (Tagesniedrigsttemperatur < 0°C)	-7,5 bis -21,2 (-11,5) Tage	-16,3 bis -38,6 (-25,6) Tage	-15,2 bis -45,5 (-30,2) Tage
<b>Niederschlag</b>			
Regen	+0% bis +8% (+3%)	+2% bis +12% (+6%)	+1% bis +13% (+7%)
Schnee	-23% bis -58% (-36%)	-53% bis -84% (-65%)	-59% bis -92% (-83%)
<b>Wind</b>			
Mittlere Windgeschwindigkeit	+0% bis +1% (+1%)	+0% bis +2% (+1%)	+1% bis +4% (+2%)
Sturmtage	+0 bis +2,2 (+0,9) Tage	-0,1 bis +3,1 (+0,9) Tage	+2,1 bis +4,6 (+3) Tage

<sup>1</sup> Mögliche kleinste und größte sowie in Klammern mögliche mittlere Änderung der mittleren Jahreswerte, jeweils gegenüber 1961-1990.

Quelle: Norddeutscher Klimaatlas (<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>).

- Autonome Anpassung erfolgt aus privatem Kalkül heraus. Sie wird zu effizienten Ergebnissen führen, wenn kein Marktversagen festzustellen ist.
- Kollektive Anpassung: Bestimmte Voraussetzungen für eine effiziente autonome Anpassung sind aber nichtsdestotrotz vom Staat zu schaffen, indem er erstens Rahmenbedingungen setzt und zweitens Informationen zur Verfügung stellt, auf deren Grundlage Anpassungsentscheidungen getroffen werden können. Rahmenbedingungen werden künftig beispielsweise im Versicherungsbereich nötig sein, wenn es um die Absicherung gegen klimawandelbedingte Prozesse und (Extrem-)Ereignisse geht. Informationen über künftige Klimaentwicklungen und deren Konsequenzen gewinnen an Bedeutung, da die Wirtschaftssubjekte sie als Basis für langfristige Entscheidungen benötigen. Dabei muss aber betont werden, dass Unsicherheit über das künftige Klima besteht und dieses in der Regel mit Hilfe der Szenariotechnik berechnet wird. Kollektive Anpassung ist ferner insbesondere bei öffentlichen Gütern angezeigt. Dies betrifft zum

einen Schutzmaßnahmen wie den Hochwasser- oder allgemeiner den Katastrophenschutz und zum anderen viele Infrastruktureinrichtungen wie Verkehrswege, öffentliche Gebäude oder Flächen.

### Anpassungserfordernisse

Anpassungsmaßnahmen sind notwendig, weil der Klimawandel für klimasensitive Systeme, Individuen, Wirtschaftssektoren und öffentliche Güter gravierende Konsequenzen haben kann.<sup>7</sup> Im Folgenden werden einige ökonomisch bedeutsame Anpassungserfordernisse kurz skizziert.<sup>8</sup>

Naheliegend ist der Einfluss des Klimawandels auf den Naturschutz und die Biodiversität. Eine Veränderung der regionalen Verteilung, Art und Zusammensetzung der Vegetation und der Tierarten aufgrund des Klimawandels ist mittlerweile unvermeidlich. Sofern damit ein Verlust an bestimmten Arten oder der Artenvielfalt einhergeht, kann dies wohlfahrtsmindernd sein. Offenkundig wird auch der Wasserhaushalt beeinflusst. Dies zeigt sich in einem Anstieg des Meeresspiegels, in geänderten Grundwasserständen, in häufigeren Extremereignissen wie Hochwässern, Starkregen oder Dürren sowie in variablen Wasserständen von Flüssen und Seen.

Für Individuen ergeben sich zwei unmittelbare Anpassungserfordernisse. Erstens wird die höhere Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen dazu führen, dass privates Eigentum stärker vor Schäden geschützt werden muss und diese Schäden vermehrt versichert werden sollten. Zweitens hat der Klimawandel viele gesundheitliche Auswirkungen, angefangen bei größerem Hitze- und Kältestress durch zunehmende Temperaturextreme bis hin zum Auftreten neuer Krankheiten. Ökonomisch relevant ist dies, wenn dadurch Kosten für das Gesundheitssystem entstehen und wenn es die Produktivität der Erwerbstätigen beeinträchtigt.

Öffentliche Einrichtungen wie beispielsweise Gebäude oder die Verkehrsinfrastruktur müssen künftig stärker resistent gegen Extremereignisse werden. Hierfür spricht aus ökonomischer Sicht, dass sie eine wichtige Funktion für die Aufrechterhaltung des öffentlichen Lebens oder für die Funktionsfähigkeit von Wertschöpfungsketten haben. Kulturgüter wie Denkmäler sind wiederum bei den Anpassungsmaß-

nahmen zu berücksichtigen, weil sie einen touristischen Wert haben.

Einzelne Wirtschaftssektoren sind höchst unterschiedlich von den Folgen des Klimawandels betroffen. Dies impliziert einerseits, dass nicht nur aufgrund von divergierenden Klimaänderungen sondern auch aufgrund unterschiedlicher Wirtschaftsstrukturen Regionen unterschiedlich vulnerabel sein können. Andererseits führt dies zu sehr verschiedenen Anpassungserfordernissen in den Sektoren.

In der Wasserwirtschaft gilt dies bei vermehrten Extremereignissen für den Hochwasser- und Küstenschutz und die Aufnahmefähigkeit von Sielsystemen und Flächen. Zudem stellen sich neue Anforderungen an die Ver- und Entsorgungssysteme sowie an das Wassermanagement, wenn Trockenphasen häufiger auftreten. Dies ist besonders für die Landwirtschaft relevant, deren Erträge stark mit der Wasserverfügbarkeit korrelieren. Der Agrarsektor ist natürlich besonders von den Wetterbedingungen abhängig. Diese beeinflussen die Ertragssituation in Höhe und Variation, die Art der Pflanzen, die angebaut werden können, und das Auftreten von Schädlingen. In Norddeutschland wird erwartet, dass diese Effekte regional sehr unterschiedlich ausfallen werden. Während in Brandenburg und in Teilen Niedersachsens die negativen Konsequenzen infolge von Wasserknappheit dominieren dürften, könnten in Schleswig-Holstein Ertragssteigerungen durch höhere Temperaturen überwiegen.

Auch der Tourismus ist in wesentlichen Teilen unmittelbar von der Witterung abhängig. Während in Norddeutschland der klassische Wintertourismus keine Rolle spielt, könnte der Badetourismus an Nord- und Ostsee von höheren Temperaturen, geringeren Niederschlägen und einer Verlängerung der Hauptsaison gegenüber südeuropäischen Konkurrenten profitieren. Dies schafft neue oder zusätzliche Anforderungen an lokale Infrastrukturen. Als nachteilig für Kultur- und Wellnessreisen könnten sich zunehmende Niederschläge in der Nebensaison erweisen. Dafür wären vor Ort wetterunabhängige Einrichtungen und Attraktionen zu schaffen. Insgesamt ist zu erwarten, dass sowohl Deutschland insgesamt als auch Norddeutschland im Speziellen im Tourismusbereich durch den Klimawandel neue Wirtschaftspotentiale erschließen.

Bei der Energiewirtschaft steht vor allem die Vermeidung des Klimawandels im Vordergrund. Aber auch die Anpassung an eine Klimaänderung betrifft diesen Sektor. Erstens wird sich zwar in den Wintermonaten tendenziell ein geringerer Heizbedarf, in den Sommermonaten dafür aber ein höherer Kühlbedarf in Gebäuden einstellen. Zweitens kann in sommerlichen Trockenperioden das Kühlwasser in Kohle-, Erdgas- und Kernkraftwerken zunehmend knapp

7 Ein Wirtschaftssektor kann dabei bereits für sich genommen ein klimasensitives System darstellen. Dies ist in der Wasserwirtschaft, der Land- und Forstwirtschaft und dem Tourismus der Fall, da alle unmittelbar von den klimatischen Bedingungen abhängen.

8 Vgl. dazu vor allem M. Zebisch, T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch, W. Cramer, a.a.O.; Bundesregierung: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 2008, abgerufen unter [http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_ge-samt\\_bf.pdf](http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_ge-samt_bf.pdf).

werden. Hier sind technische Lösungen erforderlich, um die Energieversorgung im gewohnten Maße aufrechtzuerhalten. Drittens können zunehmende Extremereignisse die Versorgungssicherheit gefährden. Dies gilt sowohl für die Rohstoffversorgung als auch für die Energieerzeugung und Energieverteilung. Die dazugehörige Infrastruktur ist möglicherweise gefährdet und muss angepasst werden, wenn beispielsweise Energie zentral erzeugt wird, oder es böte sich eine verstärkte Dezentralisierung und Diversifizierung an. Dies wird künftig nicht ohne Kosten- und Preiswirkungen vonstatten gehen.

Relativ wenig Beachtung hat der Anpassungsaspekt bisher im Industrie- und Gewerbebereich gefunden. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil eine höhere Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen auch die Wahrscheinlichkeit von Produktionsausfällen oder Unterbrechungen von Lieferketten für die Beschaffung oder den Absatz erhöht. Entsprechend muss geprüft werden, wie Produktionsstätten und Transportketten angepasst werden können. Daneben bieten Anpassungsmaßnahmen in allen Sektoren vor allem Chancen für innovative Unternehmen. Nicht nur im In- sondern auch im Ausland wird hier in Zukunft ein großer Bedarf bestehen, dessen quantitatives Ausmaß gegenwärtig noch nicht abzuschätzen ist.

Für die Finanzwirtschaft stellt der Klimawandel hauptsächlich zwei Herausforderungen. Beobachtungen des Kompetenzzentrums Naturgefahren der Münchner Rück zeigen, dass die Häufigkeit und Intensität von wetterbedingten Katastrophen bereits in den letzten Jahren weltweit zugenommen hat. Damit geht eine Zunahme der gesamten und der versicherten Schäden einher. Im Jahr 2008 betrug letztere weltweit 39,6 Mrd. US-\$.<sup>9</sup> Künftig wird es mithin aus Sicht der Versicherungen darauf ankommen, erstens Versicherungsprodukte zu entwickeln, die klimabedingte Schäden bei Individuen oder Unternehmen abdecken und zweitens bestehende Produkte an höhere Schadenssummen und Schadenswahrscheinlichkeiten anzupassen. Dies birgt gleichermaßen Chancen wie Risiken für die Geschäftstätigkeit.

Der Finanzierungsaspekt von Anpassungsmaßnahmen wirft sektorunabhängig einige Fragen auf. Insbesondere ist auch hier die Zuständigkeitsproblematik zu lösen. Im Wesentlichen sollten zwar die Handelnden und diejenigen, die die finanziellen Lasten von Anpassungsmaßnahmen tragen, deckungsgleich sein. Allerdings setzt dies bei privater Anpassung voraus, dass ausreichend Mittel vorhanden sind. Bei staatlichen Anpassungsmaßnahmen sind zudem die Er-

fordernisse des föderalistischen Staatsaufbaus zu berücksichtigen.

Das Problem der Anpassung an den Klimawandel ist folglich sektoral und regional sehr vielschichtig. Es bestehen sehr unterschiedliche Vulnerabilitäten, denen auf verschiedenen Ebenen begegnet werden muss. In Norddeutschland stehen vor allem der Hochwasser- und Küstenschutz vor besonderen Herausforderungen. Die meisten der zuvor erwähnten Wirtschaftssektoren spielen zudem in Norddeutschland, insbesondere in den drei Metropolregionen, eine wichtige Rolle. Um aber über den Sinn von staatlichen, unternehmerischen und individuellen Anpassungsmaßnahmen befinden zu können, ist es notwendig, die Kosten der Folgen des Klimawandels zu schätzen. Diese ergeben sich aus den möglichen Schäden und sind den Kosten von Anpassungsmaßnahmen im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenüberzustellen.

### Regionale Kosten des Klimawandels

Die gängige Klassifikation unterteilt Schäden in direkte und indirekte Schäden und diese wiederum in tangible und intangible Schäden. Dabei werden direkte Schäden unmittelbar durch ein Ereignis ausgelöst und indirekte Schäden folgen räumlich oder zeitlich getrennt hiervon. Sofern ein Schaden monetär zu bewerten ist, wird er als tangibel und andernfalls als intangibel bezeichnet.<sup>10</sup> Zur Beurteilung von Naturkatastrophen werden meist drei Schadenskategorien genannt: Ökonomische Schäden, humanitäre Schäden und ökologische Effekte, wobei die ökonomischen Schäden wiederum in direkte, indirekte und makroökonomische (sekundäre) Effekte differenziert werden.<sup>11</sup>

Zur Abschätzung der regionalen Kosten des Klimawandels ist allerdings eine Vorgehensweise zu präferieren, die im Gegensatz zu den beiden genannten Unterteilungen additiv ist. Dies ist der Fall, wenn trennscharf zwischen direkten, indirekten und intangiblen Schäden differenziert wird. Direkte Schäden seien dabei unmittelbare Sach- und Vermögensschäden, wobei im Falle von Extremereignissen zusätzlich die Aufwendungen für den Katastrophenschutz zu berücksichtigen wären. Diese haben aber meist nur eine relativ geringe Größenordnung und sind mithin zu vernachlässigen. Indirekte Schäden seien alle ökonomischen Verluste im Sinne einer Veränderung der Wertschöpfung entweder durch unmittelbare Produktionsausfälle, durch Einbußen in verbundenen Sektoren oder durch Verluste der Standortattrak-

9 Münchner Rück: Topics Geo Naturkatastrophen 2008: Analysen, Bewertungen, Positionen, abgerufen unter [http://www.munichre.com/publications/302-06021\\_de.pdf](http://www.munichre.com/publications/302-06021_de.pdf), München 2009.

10 Vgl. K. Smith, R. Ward: Floods, physical processes and human impacts, Chichester 1998.

11 Vgl. R. Mechler: Macroeconomic impacts of natural disasters, abgerufen unter <http://info.worldbank.org/etools/docs/library/114715/istanbul03/docs/istanbul03/03mechler3-n%5B1%5D.pdf>, mimeo, 2003.

tivität und daraus resultierende Unternehmensabwanderungen. Intangible Schäden seien schließlich all diejenigen, die sich einer unmittelbaren monetären Bewertung beispielsweise mit Hilfe von Marktpreisen entziehen. Hierzu gehören zum Beispiel der Verlust von Menschenleben, Gesundheitsschäden, beschädigte Naturräume und Ökosysteme sowie Kulturgüter.<sup>12</sup>

### Modelle für die Kostenschätzung

Zur Bewertung der einzelnen Schadensarten gibt es mittlerweile eine Reihe von Methoden, die bisher zum Teil noch unzureichend auf (regionale) Klimafolgen abgestimmt und angewendet wurden. Direkte Schäden können mikro-, meso- oder makroskalig ermittelt werden. Gemeinsam ist allen Ansätzen, dass zunächst der Wert der möglicherweise betroffenen Objekte ermittelt wird. Daraus resultiert eine Schadensberechnung, die entweder Schadenspotenziale oder Schadenserwartungswerte ausweist.<sup>13</sup>

Schwieriger ist die Ermittlung indirekter Schäden. Hier stellt sich das Problem, dass der Klimawandel zwei Formen eines exogenen Schocks annehmen kann. Entweder er tritt als allmählicher Prozess auf, der die Produktions- und Standortbedingungen (bestimmter Branchen) verändert oder es kommt zu plötzlichen Veränderungen durch Extremereignisse. Aussagen über unmittelbare Wertschöpfungsverluste durch Extremereignisse sind zwar anhand von Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung möglich, sofern Informationen darüber vorliegen, welche Branchen auf welche Weise betroffen sind. Zweitrunden- und Gleichgewichtseffekte lassen sich aber nur mittels ökonomischer Modellbildung quantifizieren. In diesem Zusammenhang bieten sich vor allem zwei Modellklassen an, und zwar erstens Input-Output-Modelle und zweitens allgemeine berechenbare Gleichgewichtsmodelle (CGE-Modelle).<sup>14</sup>

Mit Input-Output-Tabellen lassen sich die Verflechtungen innerhalb einer Volkswirtschaft über die Vorleistungsbeziehungen abbilden. Input-Output-Modelle können dann die sektoralen Wirkungen oder Beschäftigungseffekte einer Än-

derung der Endnachfrage aufzeigen. Diese Methode bietet sich an, um die Effekte von Extremereignissen zu berechnen.<sup>15</sup> Allerdings bedingt ihr statischer Charakter, der nur die Wirtschaftsstruktur im Status quo abbildet, dass (weit) in der Zukunft liegende Ereignisse nur unzureichend abgebildet werden können. Indessen ist es denkbar, exogen aufgrund vermuteter Änderungen der Wirtschaftsstruktur Parameter zu verändern, um dieses Problem zu mildern. Interessante Anwendungsfälle in Norddeutschland könnten sich auf Extremereignisse (Sturmfluten, Starkregen) im Hamburger Hafen oder im Alten Land, dem größten zusammenhängenden Obstanbaugebiet Europas, beziehen.

Die Grundidee von CGE-Modellen besteht darin, innerhalb eines allgemeinen Gleichgewichtsansatzes die Wirkung von exogenen Schocks, Parameteränderungen oder Politikmaßnahmen mit Hilfe von numerischen Simulationen zu berechnen.<sup>16</sup> In den vergangenen Jahren wurden einige spezielle Modelle entwickelt, um den Einfluss des Klimawandels sowie von Adaptions- und Mitigationsmaßnahmen auf die wirtschaftliche Entwicklung abzubilden. Ihr Vorteil besteht in ihrem interdependenten und dynamischen Charakter, der deshalb aber einen höheren Abstraktionsgrad erfordert. Trotzdem bieten sie die Möglichkeit, beide Arten von externen Schocks zu integrieren und sind deshalb hervorragend für die Schätzung indirekter Schäden geeignet. Für beide Methoden gilt, dass ihr Hauptproblem in der Regionalisierung der Modelle liegt. Input-Output-Tabellen liegen nur auf nationaler Ebene vor und bedürfen zuerst einer Anpassung an lokale Gegebenheiten. Dies ist nicht trivial und stellt einen Unsicherheitsfaktor in der indirekten Schadensschätzung dar. Die Regionalisierung der berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodelle, die Aspekte des Klimawandels berücksichtigen, steht noch am Anfang ihrer Entwicklung. Hier sind in absehbarer Zukunft weitere Anstrengungen der regionalen Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung notwendig und zu erwarten.

Für die monetäre Bewertung intangibler Schäden liegen die ökonomischen Konzepte bereits seit Längerem vor. Ihre Anwendung ist in den letzten Jahren stetig verfeinert worden.<sup>17</sup> Ein Problem der so gewonnenen Resultate dürfte in ethischen Fragen und der öffentlichen Wahrnehmung liegen: Erstens bestehen oftmals Vorbehalte gegen eine Bewertung von Menschenleben oder Ökosystemen in Geldein-

12 Eine ähnliche Einteilung nehmen W. Elsner, C. Otte, I. Yu: Klimawandel und regionale Wirtschaft, Frankfurt 2005, vor. Sie unterscheiden im Rahmen des Projektes KRIM (Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste) Vermögensschäden, Wertschöpfungsverluste, ökologische Schäden, Personenschäden, Schäden an Kulturgütern und Küstenschutzanwendungen.

13 A. Dannenberg, T. Mennel, D. Osberghaus, B. Sturm, a.a.O., S. 724, nennen zum Beispiel für die Stadt Hamburg einen gefährdeten Kapitalwert von etwa 40 Mrd. US-\$. Das Tool Kalypso Risk (<http://ibpm.bjoernsen.de/kalypso/index.php?id=212&L=0>) berechnet innerhalb Hamburgs auf kleinerem Raum Schadenspotenziale und Schadenserwartungswerte.

14 Auf (regionale) Wachstumsmodelle als dritte mögliche Modellklasse soll hier nicht näher eingegangen werden.

15 Vgl. zu einem Überblick J. Kowalewski: Methodology of the Input-Output Analysis, HWWI Research Paper, 1-25, Hamburg 2009.

16 Vgl. zu einem Überblick S. Döll: Climate change impacts in Computable General Equilibrium models: An overview, HWWI Research Paper, 1-26, Hamburg 2009.

17 Vgl. für einen Methodenüberblick D. Pearce et al.: Cost-benefit analysis and the environment: Recent developments, herausgegeben von der OECD, 2006; oder G. Atkinson, S. Mourato: Environmental cost-benefit analysis, in: Annual review of environment and resources, Vol. 33, S. 241-275, 2008.

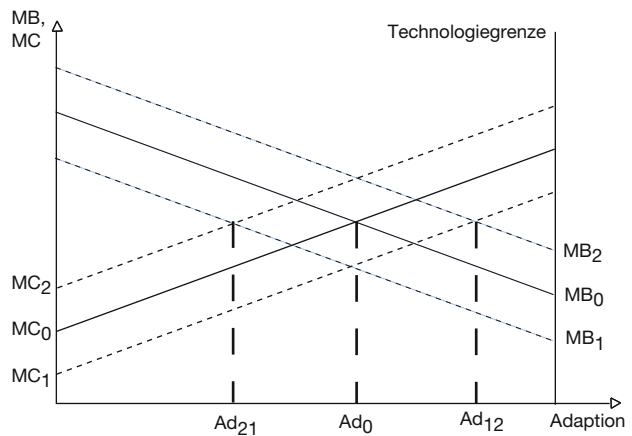
heiten. Zweitens handelt es sich um irreversible Schäden, deren Inkaufnahme zumeist negativ beurteilt wird, wie auch die Debatte über sogenannte „tipping points“ (Kipppunkte) im globalen Klimasystem und deren ökonomische Einschätzung zeigt. Allerdings ließe sich einerseits mit einem Hinweis auf mögliche irreversible Schäden jede Maßnahme zur Anpassung rechtfertigen und eine an objektiven Kriterien orientierte Programmgestaltung grundsätzlich umgehen. Andererseits liegt es auf der Hand, dass das Oberziel der Anpassung an den Klimawandel der Schutz von Menschenleben und ihrer natürlichen Umgebung ist.

**Zur allgemeinen Beurteilung von Anpassungsmaßnahmen**

Die stilisierte Darstellung in der Abbildung verdeutlicht den Einfluss von Unsicherheiten auf das optimale Ausmaß der Anpassung. Die Grafik kann sowohl gesamtwirtschaftlich oder regional als auch individuell, unternehmensbezogen oder sektoral interpretiert werden. Auf der Abszisse ist der Umfang der Anpassungsmaßnahmen abgetragen, auf der Ordinate deren marginale Kosten (MC) und der marginale Nutzen (MB) im Sinne vermiedener Schäden. Beide Kurven haben den an das umweltökonomische Optimum angelehnten typischen Verlauf. Die Technologiegrenze zeigt an, dass Anpassung gegebenenfalls aus technischen Gründen nur bis zu einem bestimmten Grade möglich sein kann. Der Schnittpunkt der „tatsächlichen“ marginalen Kurven bestimmt nun das kostenminimale Maß der Anpassung  $Ad_0$ . Sofern Unsicherheit besteht, liegen die tatsächlichen marginalen Kurven innerhalb einer wahrscheinlichen Bandbreite, die durch die Kurven  $MC_1$  und  $MC_2$  bzw.  $MB_1$  und  $MB_2$  wiedergegeben wird. Dann lässt sich nur noch eine Bandbreite hinsichtlich des optimalen Anpassungsmaßes angeben, welches zwischen  $Ad_{21}$  und  $Ad_{12}$  liegt. Die genannten Bandbreiten bezüglich Kosten, Nutzen und Anpassung können sich dabei im Übrigen nicht nur aus Unsicherheiten über die künftige Klimaentwicklung oder Ungenauigkeiten in den monetären Schätzungen, sondern auch aus normativen Urteilen ergeben. Diese können sich zum Beispiel in der Methoden- oder Parameterwahl bei Schadens- und Kostenschätzungen äußern.

Die Darstellung in der Abbildung hat einige weitere interessante Implikationen. Erstens zeigt sie, dass Unsicherheit keine Rechtfertigung für ein Abwarten und Unterlassen von Anpassungsmaßnahmen ist, außer die Anpassung vermeidet keine Schäden oder der Grenznutzen ihrer Vermeidung liegt durchgehend unter den Grenzkosten. Zweitens wird man in der praktischen Anwendung zwar kaum den optimalen Anpassungsgrad treffen. Gerade in Bezug auf den Schutz vor Extremereignissen spricht jedoch einiges für die Inkaufnahme einer Überanpassung. Drittens wird der Aussagegehalt von ökonomischen Kosten-Nutzen-Überlegungen dadurch

**Optimale Anpassung und Unsicherheit**



erhöht, dass relevante Szenarien untersucht und Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. Die Tatsache, dass daraus Intervall- anstelle von Punktempfehlungen folgen, dürfte dem Eindruck entgegenwirken, dass die (regionale) ökonomische Klimafolgenforschung einfache Antworten auf komplexe Fragestellungen geben kann.

Es lässt sich festhalten, dass mittlerweile einiges über die Vulnerabilität von Regionen und Sektoren gegenüber Klimaänderungen bekannt ist. Auch im Hinblick auf mögliche Anpassungsmaßnahmen werden kontinuierlich Fortschritte erzielt. Allerdings reicht dieses Wissen für eine rationale Klimaanpassungspolitik noch nicht aus, zumal die Schätzungen potentieller Schäden auf regionaler Ebene noch unvollständig sind und einer Reihe von Unsicherheiten unterliegen.

**Fazit**

Der Klimawandel stellt eine enorme ökonomische Herausforderung dar. Dies gilt für beide Säulen der Klimapolitik, die Vermeidung und die Anpassung. Wenngleich die beiden Teilbereiche interdependent sind, weil heutige Vermeidungsmaßnahmen den künftigen Anpassungsbedarf reduzieren können, gewinnen Überlegungen zur Klimaanpassung in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Dies liegt auch daran, dass das Wissen über mögliche Klimaänderungen zugenommen hat und unabhängig von einem menschlichen Einfluss hierauf in vielen Regionen der Welt systematische Maßnahmen notwendig erscheinen. Deutschland ist davon nicht ausgenommen. Zwingend ist neben einer frühzeitigen Planung und Umsetzung eine kosteneffiziente und effektive Gestaltung aller Anpassungsprozesse und -maßnahmen. Um dies gerade auf regionaler Ebene zu gewährleisten, besteht weiterhin großer Forschungsbedarf.