

# Michael D. Mastrandrea / Stephen H. Schneider

## Vorbereitungen für den Klimawandel

### Einleitung

Weltweit gibt es eine stark wachsende Bereitschaft, sich dem Problem des Klimawandels, einer der größten Herausforderungen für die moderne Gesellschaft, zu stellen. Der Weg zum gegenwärtigen globalen Umweltbewußtsein war jedoch mit vielen Hindernissen gepflastert.

Der natürliche Treibhauseffekt und seine Verstärkung durch vom Menschen verursachte (anthropogene) Emissionen von Treibhausgasen sind bekannt und wissenschaftlich gut belegt. Für die Klimaforscher, die die Mehrheitsmeinung vertreten, handelt es sich dabei um einen belastbaren Befund. Doch obwohl die Beweise auf der Hand liegen, gibt es eine Reihe von Interessengruppen – sowie einige Wissenschaftler –, welche die in den letzten vierzig Jahren gefundenen Belege für eine anthropogene globale Erwärmung immer noch nicht akzeptieren.

Leider werden diese Skeptiker von den Medien häufig als glaubwürdige Experten behandelt, denen ebensoviel Gehör geschenkt wird wie den die Mehrheitsmeinung vertretenden Wissenschaftlern. Ein Ergebnis dessen ist, daß in der Öffentlichkeit Verwirrung herrscht, wodurch eine ohnehin schon heftige Diskussion weiter angeheizt wird. Der Klimawandel ist nicht nur Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen, sondern auch ein Thema, das die Öffentlichkeit und die Politik beschäftigt. Die Reaktionen auf den Klimawandel werden die natürlichen Ökosysteme, die Energieerzeugung, das Verkehrswesen, Entwicklungsstrategien, Regierungspolitiken, die Bevölkerungsentwicklung, Verteilungsgerechtigkeit und indi-

viduelle Freiheiten und Verantwortlichkeiten auf der ganzen Welt tiefgreifend beeinflussen – kurzum: Sie werden sich auf die Qualität menschlicher und ökologischer Systeme auswirken. Entscheidungen über Umfang und Zeitfenster der Klimapolitik werden Kosten und Nutzen für die betroffenen Gemeinschaften mit sich bringen, in denen es widerstreitende Prioritäten gibt. Zudem wird sich all dies vor dem Hintergrund unterschiedlicher Wissensstände und damit verbundener Unsicherheiten abspielen.

Einige dieser Unsicherheiten werden sich in den nächsten zehn oder zwanzig Jahren durch »normale« wissenschaftliche Untersuchungen beseitigen lassen. Andere werden zweifellos noch lange fortbestehen, und zwar auch dann noch, wenn wir Veränderungen zu bewältigen haben, die entweder nicht mit großer Sicherheit prognostiziert werden können oder, falls sie doch eindeutig festgestellt werden, nicht mehr umkehrbar sind. Dies stellt eine große Herausforderung für die weltweite Gestaltung unserer Entwicklungspfade dar.

Politiker, Lobbyisten, Finanzleute, Umweltschützer und Klimaskeptiker haben sich mächtig ins Zeug gelegt, um die öffentliche Meinung – und die von ihr kontrollierten finanziellen Ressourcen – in ihrem Sinn zu beeinflussen. Die meisten der Mehrheitsmeinung anhängenden Wissenschaftler haben mit den ihnen zur Verfügung stehenden Methoden dagegegenghalten: Forschung zur Verbesserung des Verständnisses klimatischer Vorgänge und der Prognosefähigkeit, verantwortungsbewusste Berichterstattung über Forschungsdaten, bestmögliche Theoriebildung, internationale Kooperation und Aufforderungen, Klimafragen in politische Überlegungen einzubeziehen. Entscheidungsträger, die mit zahllosen »Wahrheits«-Ansprüchen konfrontiert werden, verlassen sich mittlerweile auf Institutionen, die die relative Glaubwürdigkeit der jeweiligen Behauptungen bewerten. Die meisten Län-

der greifen auf ihre eigenen Wissenschaftsakademien zurück, um Einschätzungen im nationalen Maßstab vorzunehmen.

Doch die Probleme der internationalen Zusammenarbeit erfordern auch internationale Anstrengungen. Aus diesem Grund haben das UN Environment Program und die World Meteorological Organization 1988 den Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gegründet. Alle fünf bis sechs Jahre veröffentlicht der IPCC seinen von Wissenschaftlern geprüften und von Regierungen weltweit gebilligten *Sachstandsbericht (Assessment Report)*, der so etwas wie einem globalen Konsens der Wissenschaftler über den Klimawandel am nächsten kommt.

Jeder Bericht enthält eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, daß seine wichtigsten Schlußfolgerungen eintreten werden, sowie Informationen dazu, als wie verläßlich die Autoren des Berichts die Forschungsarbeiten einschätzen, die ihren Prognosen zugrunde liegen. Durch dieses Verfahren werden die wahrscheinlicheren Ergebnisse von den eher spekulativen getrennt. Sowohl die Experten als auch die Regierungen prüfen die Berichtsentwürfe in der Entstehungsphase gründlich, und eine Kurzfassung für politische Entscheidungsträger (*Summary for Policy Makers*, kurz SPM) wird von einem »Plenum« gebilligt, in dem Hunderte von Regierungsvertretern zusammen mit führenden Wissenschaftlern um den genauen Wortlaut ringen. Es ist schwer, bei allen Parteien Einigkeit in bezug auf die sprachlichen Formulierungen zu erreichen, und Außenseiterpositionen von beiden Enden des Spektrums kommen zwangsläufig nicht zum Zug; aber der Konsens über die SPM führt dazu, daß die meisten nationalen Regierungen die grundlegenden Schlußfolgerungen der *Sachstandsberichte* des IPCC akzeptieren.

Für den vom Menschen verursachten Klimawandel gibt es eine erdrückende Fülle von Belegen. Es gilt in der Wissenschaft als sicher, daß es in den letzten hundert Jahren eine starke Tendenz zur Erwärmung gab. Der jüngste Bericht – der *Vierte Sachstandsbericht* des IPCC von 2007 – nannte sie »eindeutig«. Überdies steht fest, daß die Erwärmung der letzten vier Jahrzehnte weitgehend durch menschliche Aktivitäten verursacht wurde – der Bericht nannte dies »sehr wahrscheinlich« – und daß im 21. Jahrhundert eine noch wesentlich stärkere Erwärmung zu erwarten ist, falls die Emissionen weiter steigen. Doch wieviel Erwärmung können wir tatsächlich erwarten, und wie stark werden die Auswirkungen sein?

Auf diese Fragen kann die wissenschaftliche Literatur nicht mit der gleichen Sicherheit antworten. Schätzungen, wie stark die Erwärmung und ihre Auswirkungen bis 2100 sein werden, variieren um den beträchtlichen Faktor 6. Dies ist teilweise darauf zurückzuführen, daß ungewiß ist, wie das Klimasystem auf die zukünftige Verlaufskurve der Treibhausgasemissionen reagieren wird. Ein größerer Unsicherheitsfaktor ist allerdings diese Verlaufskurve selbst, die wiederum von der zukünftigen sozioökonomischen Entwicklung und den politischen Entscheidungen abhängig ist, welche die Emissionen beeinflussen.

Die forschungspolitische Aufgabe besteht somit darin, mit der Unsicherheit richtig umzugehen, anstatt unendlich viel Zeit darauf zu verwenden, sie zu beseitigen. Diese Form des Risikomanagements kommt häufig in den Bereichen Verteidigung und Gesundheitswesen, in der Wirtschaft sowie bei umweltpolitischen Entscheidungen zum Tragen. Daher hat sich der IPCC darauf konzentriert, die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse zu bewerten, die die vom Klimawandel

ausgehenden – in den einzelnen Szenarien unterschiedlich starken – Bedrohungen detailliert beschreiben. Ferner geht es darum, mit welcher Wahrscheinlichkeit diese unterschiedlich großen Klimaveränderungen in verschiedenen »Business as usual«-Szenarien eintreten werden und welche potentiellen Gegenstrategien es gibt. Diese Prognosen machen deutlich, daß *business as usual* unterschiedliche potentielle Gefahren mit sich bringt.

Daß Regierungen das Ziel verfolgen, die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren, ist ein Verdienst des IPCC. Es überrascht nicht, daß diejenigen, die finanziell von emissionsintensiven Wirtschaftsaktivitäten profitieren – zumeist erfolglos –, versucht haben, die Glaubwürdigkeit der vom IPCC vorgelegten Forschungsergebnisse zu diskreditieren. Da ihnen das nicht gelungen ist, sind sie dazu übergegangen, die Arbeitsweise des IPCC oder einzelne Wissenschaftler anzugreifen. Diese Kampagnen waren erfolgreicher.

Zum Beispiel wurde nach der Veröffentlichung des *Vierten Sachstandsberichts* im Jahr 2007 eine kleine, klimapolitisch jedoch äußerst schädliche Anzahl von Fehlern in dem Dokument des IPCC entdeckt. Besondere Aufmerksamkeit erregte eine Schlußfolgerung, die auf der wissenschaftlich nicht fundierten Angabe beruhte, die Gletscher im Himalaya würden bis 2035 abschmelzen. Es gibt zur Zeit keine Möglichkeit, seriös vorherzusagen, welches Ausmaß der Erwärmung solch gravierende Konsequenzen auslösen würde, oder die Geschwindigkeit abzuschätzen, mit der sie schließlich eintreten würden, wenn sie einmal in Gang gekommen sind. Angesichts dieser Unsicherheiten kann keine einzelne Zahl mit Sicherheit genannt werden – es müssen verschiedene Szenarien angenommen werden. Doch die falsche Jahresangabe und die darauf basierende Schlußfolgerung blieben unentdeckt, was unter anderem dazu führte, daß viele Menschen die richtige Schluß-

folgerung des Berichts nicht zur Kenntnis nehmen, nämlich daß die Schmelze der Himalaya-Gletscher laut sehr zuverlässigen Beobachtungen bereits begonnen hat.

Viele Medienvertreter und fast alle Gegner der vom IPCC vorgelegten Ergebnisse zogen die Glaubwürdigkeit der Klimaforschung im allgemeinen und die des IPCC im besonderen in Zweifel. Manche behaupteten sogar, die Fehler stellten bewußte Übertreibungen dar, da man an höhere Forschungsgelder kommen wolle. Es ist natürlich legitim, darauf hinzuweisen, daß Wissenschaftler Fehler machen und daß bessere Verfahren vonnöten sind, um Fehlerquoten zu verringern. Aber in nur wenigen Berichten und Polemiken gegen den IPCC wurde erwähnt, daß dieser kleinen Anzahl von Fehlern Tausende von Einschätzungen und Hunderte von Schlußfolgerungen gegenüberstanden, die nicht angefochten wurden. Die Verfahrensweisen des IPCC umfassen auch Richtlinien bezüglich des Umgangs mit Unsicherheiten, die unter anderem helfen sollen, solche potentiellen Fehler zu vermeiden. In den allermeisten Fällen haben diese Richtlinien ihre Funktion erfüllt. Bei den Verfahren zur Einschätzung komplexer Systeme kann der IPCC eine beispiellos gute Bilanz aufweisen, was die präzise Wiedergabe des Stands der Wissenschaft und die wissenschaftliche Fundierung verschiedener Schlußfolgerungen betrifft. Im Finanzwesen, im Bereich der Verteidigungs- und Sicherheitspolitik sowie im Gesundheitswesen gibt es nirgends einen annähernd so hohen Prozentsatz unangefochtener Ergebnisse.

Wie bereits erwähnt, sind Prognosen zum Klimawandel und seinen Folgen mit signifikanten Unsicherheiten behaftet. Die Wissenschaft ist bestrebt, Unsicherheiten durch das Sammeln von Daten, weitere Forschung, Modellbildungen, Simulationen und andere Methoden der Informationsbeschaffung zu beseitigen, und die fortgesetzte Erforschung des Klimasystems

wird die Unsicherheit über die Auswirkungen zunehmender Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre schließlich verringern. Angesichts der Komplexität des globalen Klimasystems gilt es, die Daten, die über viele Jahrzehnte hinweg sorgfältig erhoben wurden, genau zu analysieren.

Doch selbst die Prognosen, die im Rahmen der optimistischsten *Business-as-usual*-Szenarien formuliert wurden, besagen, daß es in bestimmten Regionen, Bereichen und Bevölkerungsgruppen zu potentiell gefährlichen Klimaeffekten kommen kann. Das bedeutet, daß wir nicht umhinkönnen, strategische Entscheidungen zu treffen, noch bevor signifikante Unsicherheiten beseitigt sind. Die Risikoanalyse – die wissenschaftliche Einschätzung der Folgen bestimmter Szenarien und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens – unterscheidet sich vom Risikomanagement, bei dem in höherem Maß moralische Werte im Spiel sind; hierbei geht es um die Entscheidung, wie man sich vor den Risiken schützen kann, die im Zuge der wissenschaftlichen Untersuchungen entdeckt werden.

Um die heute bereits feststellbaren Klimaauswirkungen zu bewältigen und um einen noch schädlicheren Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten zu verhindern, ist umfassendes und nachhaltiges globales Handeln erforderlich. Das Ziel ist klar: die Reduzierung der Zunahme von Treibhausgasemissionen und die spürbare Senkung dieser Emissionen unter die heutigen Werte. In den gegenwärtigen Diskussionen werden die Bemühungen zur Erreichung dieses Ziels Verminderung (*mitigation*) genannt.

Allerdings ist auch klar, daß eine Verminderung nicht ausreichen wird, um das Klimaproblem in den Griff zu bekommen. Selbst bei energischen weltweiten Bemühungen um eine Verringerung der Emissionen wird sich das Klima auf der Erde auf Grund der Emissionen der Vergangenheit und der Trägheit gesellschaftlicher und physikalischer Systeme zumin-

dest für die Dauer vieler Jahrzehnte beträchtlich verändern. Signifikante Auswirkungen des Klimawandels sind bereits erkennbar und stellen wachsende Risiken für viele gefährdete Bevölkerungsgruppen und Regionen dar.

Neben der Verminderung brauchen wir folglich auch Strategien, die auf Anpassung (*adaptation*) zielen; es geht also um Maßnahmen der vernünftigen Anpassung an die unvermeidlichen Veränderungen, die wir bereits jetzt erleben. Außerdem müssen wir Anpassung mit Verminderung kombinieren, da der Erfolg der einen Strategie von dem der anderen abhängig ist. Die heutigen Bemühungen um die Verringerung der Emissionen werden zu einem bestimmten Zeitpunkt ausschlaggebend für das Ausmaß des Klimawandels sein und mit darüber entscheiden, welches Maß an Anpassung in Zukunft erforderlich – oder möglich – sein wird. Gleichzeitig wird ein besseres Verständnis des Umfangs des Klimawandels, an den eine Anpassung nur schwer möglich ist, dazu beitragen, daß wir uns ein Urteil darüber bilden können, wieviel Verminderung erforderlich ist.

In diesem Beitrag skizzieren wir die Herausforderungen, vor denen die Weltgesellschaft steht, wenn sie dem Klimawandel in all seinen Dimensionen begegnen will. Wir beginnen mit einem Überblick über die Forschung zum Klimawandel und seine potentiellen Auswirkungen, erörtern sodann Strategien zur Eindämmung des Klimawandels – Anpassung und Verminderung – und fordern zum Schluß eine *Bottom-up-/Top-down-Einschätzung*, bei der *Bottom-up*-Kenntnisse über bestehende Vulnerabilitäten und *Top-down*-Prognosen über die Klimaeffekte zusammengeführt werden. Diese Strategien liefern eine transparente Basis für sachkundige Entscheidungen, die das Ziel haben, Vulnerabilität zu verringern, wobei es insbesondere um Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen geht.

## I. Der wissenschaftliche Konsens

Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts steigen die Temperaturen weltweit. Nach Schätzung des IPCC beträgt der globale durchschnittliche Temperaturanstieg etwa 0,75 Grad Celsius. Die zehn wärmsten Jahre der Geschichte wurden zwischen 1998 und 2010 gemessen. Es gibt heute eine Fülle wissenschaftlicher Belege dafür, daß die Menschen diese globale Erwärmung mitverursacht haben.

Es wurden und werden vielfältige Auswirkungen der Erwärmung beobachtet: das Schmelzen von Berggletschern, der Eisschilde Grönlands und in Teilen der westlichen Antarktis sowie des Meereises im nördlichen Polarmeer; steigende Meeresspiegel und ein Anstieg des Säuregehalts des Meerwassers; zunehmende Heftigkeit von Dürren, Hitzewellen, großen Flächenbränden und Wirbelstürmen (die Heftigkeit und/oder Häufigkeit von extremen Wetterereignissen können sich schon dann spürbar verändern, wenn es zu kleinen Veränderungen in den durchschnittlichen Bedingungen kommt); gewandelte Lebenszyklen und Lebensräume von Pflanzen und Tieren. Hauptverursacher insbesondere der raschen Erwärmung seit den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts sind Emissionen von Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan, die durch menschliche Aktivitäten freigesetzt werden. Das Verbrennen fossiler Brennstoffe trägt am meisten zu den Treibhausgasen bei, aber auch die Landwirtschaft, Rodungen und die Zementproduktion spielen eine Rolle.

### *Der sich erwärmende Planet*

Der Treibhauseffekt und seine Verstärkung durch von Menschen verursachte Emissionen sind bekannt und wissenschaftlich gut belegt. Schon 1827 wies der französische Mathemati-

ker und Physiker Joseph Fourier darauf hin, daß Kohlendioxid Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückhält. 1896 bezeichnete der schwedische Chemiker Svante Arrhenius dies als *Treibhauseffekt*. Arrhenius stellte als erster fest, daß ein anthropogener Anstieg der Kohlendioxidmenge in der Atmosphäre die Temperatur signifikant beeinflussen kann.

Wie funktioniert das? Die Erdatmosphäre ist für sichtbares Licht einigermaßen durchlässig. Etwa die Hälfte der Strahlungsenergie der Sonne dringt in die Atmosphäre ein und wird von der Erdoberfläche absorbiert. Die andere Hälfte wird entweder durch die Atmosphäre absorbiert oder von Wolken, atmosphärischen Gasen, Aerosolen und von der Erdoberfläche in den Weltraum reflektiert. Die absorbierte Energie erwärmt die Erdoberfläche und die Atmosphäre, die die Energie als Infrarotstrahlung wieder abgeben. Um das Energiegleichgewicht aufrechtzuerhalten, muß die Erde so viel Energie in den Weltraum abgeben, wie sie aufnimmt, die Atmosphäre ist für Infrarotstrahlung jedoch wesentlich weniger durchlässig. Kohlendioxid, andere Treibhausgase und Wolken absorbieren zwischen achtzig und neunzig Prozent der Infrarotstrahlung, die von der Erdoberfläche emittiert wird, und geben Energie in alle Richtungen wieder ab, sowohl in den Weltraum als auch zurück zur Erdoberfläche.

Auf diese Weise wird Infrarotstrahlungsenergie zurückgehalten, wodurch die unteren Schichten der Atmosphäre aufgeheizt und die Erdoberfläche weiter erwärmt wird. Im Zuge der Erwärmung gibt die Erdoberfläche noch mehr Infrarotstrahlung nach oben ab und so weiter, bis sich die in den Weltraum abgegebene Infrarotstrahlung im Gleichgewicht mit der absorbierten Strahlungsenergie des Sonnenlichts und anderen Energiearten befindet, die von der Erdoberfläche kommen und wieder dorthin zurückgehen (zum Beispiel zunehmende Konvektionsenergieströme oder verdunsteter Wasserdampf,