

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

- 1** Einleitende Bemerkungen zum Klimawandel

Das Klimasystem verstehen

- 2** Der Treibhauseffekt
3 Treibhausgase und Aerosole
4 Wie werden sich die Treibhausgaskonzentrationen in Zukunft ändern?
5 Wie wird sich das Klima ändern?
6 Hat der Klimawandel schon begonnen?
7 Rückschlüsse aus Klimamodellen
8 Rückschlüsse aus früheren Klimaverhältnissen

Die Konsequenzen ziehen

- 9** Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels
10 Landwirtschaft und Sicherung der Nahrungsmittelversorgung
11 Meeresspiegel, Ozeane und Küstengebiete
12 Artenvielfalt und Ökosysteme
13 Wasservorräte
14 Die menschliche Gesundheit
15 Infrastruktur, Industrie und Siedlungsgebiete
16 Klimakatastrophen und extreme Wetterereignisse

Die Klimakonvention

- 17** Die internationale Reaktion auf den Klimawandel: Ein geschichtlicher Rückblick
18 Die Klimakonvention
19 Die Konferenz der Vertragsparteien (COP)
20 Weitergabe und Überprüfung wichtiger Informationen
21 Das Protokoll von Kyoto

Reduzierung der Treibhausgasemissionen

- 22** Wie durch menschliche Aktivitäten Treibhausgase entstehen
23 Die Begrenzung der Emissionen: Eine Herausforderung für politische Entscheidungsträger
24 Ausarbeitung kostenwirksamer Strategien
25 Neue Energietechnologien und energiepolitische Maßnahmen
26 Neue Verkehrstechnologien und verkehrspolitische Maßnahmen
27 Neue Wege in der Land- und Forstwirtschaft
28 Finanzierung der in der Konvention vorgesehenen Maßnahmen
29 Weltweite Zusammenarbeit im Bereich der Technologie

Zahlen und Fakten

- 30** Daten über Treibhausgasemissionen und -quellen

Aktualisierte Auflage, Juli 1999. Unterstützt durch das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP), das Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP), die Abteilung der Vereinten Nationen für Nachhaltige Entwicklung, das Ausbildungs- und Forschungsinstitut der Vereinten Nationen (UNITAR), die Weltorganisation für Meteorologie (WMO), die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und das Sekretariat der Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Die deutsche Übersetzung wurde unterstützt durch das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zusätzliche Exemplare können angefordert werden bei: UNEP Information Unit for Conventions, International Environment House (Geneva) C.P. 356, 1219 Châtelaine, Schweiz; Tel. (+41 22) 917-8244/8196/1234; Fax (+41 22) 797-3464; E-mail iuc@unep.ch; Internet: <http://www.unep.ch/iuc/>.

Diese Informationsblätter wurden von Roberto Acosta, Myles Allen, Anilla Cherian, Sarah Granich, Irving Mintzer, Alevino Suarez und David von Hippel verfaßt und von Michael Williams durchgesehen. Jedes Blatt wurde von mindestens zwei Experten überprüft.



Vorwort

Die größte globale Bedrohung, mit der sich die Menschheit heutzutage konfrontiert sieht, besteht darin, daß unsere wirtschaftlichen Aktivitäten zu einer globalen Erwärmung des Klimas führen könnten – ein Prozeß, der schwerwiegende Konsequenzen für das gesamte Ökosystem Erde und für das Leben der Menschen in reichen wie in armen Ländern hätte.

Die zu erwartenden Folgen – steigende Meeresspiegel, erschöpfte landwirtschaftliche Ressourcen, eine Abnahme der Wasservorräte, größere Gesundheitsrisiken, extrem unbeständige Wetterverhältnisse, soziale Spannungen – legen nahe, daß sowohl entwickelte als auch Entwicklungsländer gute Gründe haben, dem Klimawandel mit Sorge entgegenzublicken.

Viele Wissenschaftler vermuten, daß die jüngst in unterschiedlichen Teilen der Erde beobachteten Temperaturanstiege und Veränderungen bei den Klimaschwankungen die ersten Anzeichen eines solchen globalen Klimawandels sein könnten.

Es steht viel auf dem Spiel. Wir können nicht zulassen, daß die Systeme, die die Grundlage allen menschlichen Lebens bilden, irreversibel geschädigt werden, weil die Kosten für zukünftige Anpassungsmaßnahmen untragbar wären.

Vor diesem Hintergrund geht das Kyoto-Protokoll der Klimakonvention über den bloßen Ruf nach Maßnahmen hinaus. Es setzt vielmehr auf rechtsverbindliche Verpflichtungen, um die in den Industrieländern seit nunmehr 150 Jahren anhaltende Zunahme der Schadstoffemissionen zu stoppen und schließlich rückgängig zu machen.

Die politischen Entscheidungsträger sind nun aufgefordert, die ihnen zur Verfügung stehenden vielfältigen Ansätze für „Win-win“-Lösungen – d.h. Lösungen, die für alle Beteiligten von Vorteil sind – zu verbessern und umzusetzen. Die Abschaffung kontraproduktiver Anreize und Subventionen, die Beseitigung von Hindernissen für mehr marktwirtschaftliche Effizienz und die Förderung von Investitionen für eine bessere Energieauslastung können Emissionen reduzieren und sich gleichzeitig positiv auf die Wirtschaft des jeweiligen Landes auswirken.

Ökonomen können den politischen Entscheidungsträgern bei der Analyse von „Win-win“-Strategien, Marktmechanismen und anderen Lösungsansätzen von großem Nutzen sein. Im Rahmen des Protokolls von Kyoto sind Regierungen erstmals übereingekommen, sich zur Umsetzung ihrer Verpflichtungen wirtschaftlicher Instrumente zu bedienen. Die Entwicklung solcher Instrumente wird den beteiligten Interessengruppen mehr Möglichkeiten eröffnen, kosteneffiziente Lösungen zu finden.

Eine der wichtigsten Aufgaben der politischen Entscheidungsträger wird es sein, das kreative Potential der Wirtschaft, der Behörden vor Ort und der Zivilgesellschaft zu mobilisieren. Die Wirtschaftsführer müssen überzeugt werden, ihre Investitions- und Marketingstrategien anzupassen und energieeffizientere Fahrzeuge, Konsumgüter und Produktionsprozesse zu entwickeln. Auf der Ebene der Behörden und der Bürger vor Ort sollte das Protokoll von Kyoto als Signal für die Notwendigkeit einer energieeffizienteren und umweltfreundlicheren Gestaltung des städtischen Verkehrswesens, des öffentlichen Wohnungsbaus und der Stadtplanung verstanden werden.

Am wichtigsten aber ist, daß die einzelnen Haushalte selbst zur Reduzierung ihrer Emissionen beitragen, indem die Verbraucher den ihnen zur Verfügung stehenden Entscheidungsspielraum nutzen und ihren persönlichen Lebensstil entsprechend ausrichten.

Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen setzt seinerseits alles daran, seine Unterstützung der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe über Klimaänderungen und seinen Beitrag zu konventionsbezogenen Aktivitäten wie etwa der Öffentlichkeitsarbeit auszubauen. Nur indem die internationale Gemeinschaft so zusammenarbeitet, kann sie die mit dem Klimawandel verbundenen globalen Herausforderungen wirksam angehen.



Klaus Töpfer
Exekutivdirektor
Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP)

Einleitende Bemerkungen zum Klimawandel

◆ **Bei den Aktivitäten des Menschen entstehen Treibhausgase, die in die Atmosphäre entweichen.** Kohlendioxid entsteht, wenn fossile Brennstoffe zur Energieerzeugung verwendet und Wälder gefällt und durch Brandrodung zerstört werden. Methan und Distickstoffoxid werden durch landwirtschaftliche Aktivitäten und Änderungen in der Bodennutzung sowie aus anderen Quellen freigesetzt. Künstliche chemische Substanzen, sogenannte halogenierte Kohlenwasserstoffe (FCKW, H-FKW, FKW), und andere langlebige Gase wie zum Beispiel Schwefelhexafluorid (SF₆) entstehen bei industriellen Prozessen, während das bodennahe Ozon indirekt durch Autoabgase verursacht wird.

◆ **Der Anstieg der Treibhausgase wird aller Voraussicht nach zu Klimaänderungen führen.** Diese Gase absorbieren Infrarotstrahlung und schränken damit den Fluß der natürlichen Energie durch das Klimasystem ein. Das Klima muß sich in irgendeiner Weise an die „dickere Decke“ von Treibhausgasen anpassen, um das Gleichgewicht zwischen der Einstrahlung von Sonnenenergie und der Abstrahlung von Energie in den Weltraum aufrechtzuerhalten.

◆ **Klimamodelle sagen einen globalen Temperaturanstieg um etwa 1°C bis 3,5°C bis zum Jahr 2100 voraus.** Diese voraussichtliche Änderung ist einschneidender als jeder Klimawandel in den letzten 10 000 Jahren. Die Prognose beruht auf den gegenwärtigen Emissionstrends sowie auf der Annahme, daß nichts zur Verringerung der Treibhausgasemissionen unternommen wird. Noch herrscht große Ungewißheit hinsichtlich des Umfangs und der Folgen des Klimawandels, vor allem auf regionaler Ebene. Aufgrund des Verzögerungseffekts der Meere reagieren die Oberflächentemperaturen nicht sofort auf Treibhausgasemissionen, weshalb sich das Klima noch jahrzehntelang ändern wird, nachdem sich die Konzentrationen in der Atmosphäre längst stabilisiert haben. Unterdessen deuten alle Anzeichen in ihrer Gesamtheit darauf hin, daß das Klima möglicherweise schon begonnen hat, auf die bisherigen Emissionen zu reagieren.

◆ **Der Klimawandel wird die globale Umwelt wahrscheinlich erheblich beeinträchtigen.** Allgemein gilt, daß das Schadensrisiko umso größer ist, je schneller sich das Klima ändert. Es wird erwartet, daß der mittlere Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 um 15 bis 95 Zentimeter ansteigt, was zur Überflutung tiefliegender Gebiete und anderen Schäden führen wird. Klimazonen (und damit Ökosysteme und landwirtschaftlich genutzte Gebiete) könnten sich in den mittleren Breiten um 150 bis 550 Kilometer zu den Polen hin verlagern. Wälder, Wüsten, natürliches Weideland und andere unbewirtschaftete Ökosysteme wären neuen klimatischen Belastungen ausgesetzt. Viele dieser Gebiete würden in der Folge zurückgedrängt oder zerteilt, und einzelne Arten würden aussterben.

◆ **Auf die menschliche Gesellschaft kommen neue Risiken und Belastungen zu.** Eine globale Gefährdung der Nahrungsmittelversorgung ist wohl nicht zu befürchten, doch werden einige Regionen voraussichtlich unter Nahrungsmittelknappheit und Hungersnot zu leiden haben. Auch die Wasserreserven werden betroffen sein, wenn sich die Niederschlags- und Verdunstungsmuster weltweit ändern. Physische Infrastrukturen könnten Schaden nehmen, insbesondere durch den Anstieg des Meeresspiegels und extreme Wetterereignisse. Wirtschaftliche Aktivitäten, Siedlungsgebiete und die Gesundheit des Menschen werden auf vielfältige Weise direkt und indirekt in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Armen und Benachteiligten werden am anfälligsten für die Auswirkungen des Klimawandels sein.

◆ **Menschen und Ökosysteme werden sich an die zukünftigen Klimabedingungen anpassen müssen.** Aufgrund früherer und heutiger Emissionen muß sich die Erde bereits bis



zu einem gewissen Grad auf Klimaänderungen im 21. Jahrhundert einstellen. Zur Anpassung an die Folgen bedarf es eines eingehenden Verständnisses der sozioökonomischen und der natürlichen Systeme, ihrer Empfindlichkeit gegenüber Klimaänderungen und ihrer natürlichen Anpassungsfähigkeit. Es gibt viele Strategien zur Anpassung an die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels.

◆ **Zur Stabilisierung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre bedarf es großer Anstrengungen.** Wenn sich der gegenwärtige Trend fortsetzt, werden sich die steigenden Treibhausgasemissionen auf das Klima bis zum Jahr 2030 insgesamt so auswirken wie eine Verdoppelung der vorindustriellen CO₂-Konzentration und bis zum Jahr 2100 zumindest wie eine Verdreifachung dieses Werts. Ein Einfrieren der CO₂-Emissionen auf ihrem derzeitigen Niveau würde die Verdoppelung der CO₂-Konzentration bis zum Jahr 2100 hinauszögern. Der Treibhausgasausstoß müßte letztendlich auf rund 30 Prozent des derzeitigen Niveaus gesenkt werden, damit sich die CO₂-Konzentration irgendwann in der Zukunft auf dem doppelten Wert einpendelt. Da die Weltwirtschaft unaufhörlich expandiert und die Weltbevölkerung laufend zunimmt, wären dazu allerdings eine wesentlich effizientere Energieausnutzung und grundlegende Änderungen in anderen Wirtschaftssektoren notwendig.

◆ **Mit der Klimakonvention stellt sich die internationale Gemeinschaft dieser Herausforderung.** Die Konvention von 1992, die mittlerweile über 175 Mitglieder hat, soll bewirken, daß sich die Treibhausgaskonzentrationen auf einem ungefährlichen Niveau stabilisieren. Sie verpflichtet die entwickelten Länder, Maßnahmen zu ergreifen, um ihre Emissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen. Darüber hinaus fordert die Konvention von allen Ländern, daß sie ihre Emissionen reduzieren, einschlägige Informationen sammeln, Strategien zur Anpassung an die Klimaänderungen entwickeln und in den Bereichen Forschung und Entwicklung von Technologien zusammenarbeiten.

◆ **Das 1997 verabschiedete Protokoll von Kyoto wird größere Anstrengungen für die Zeit nach dem Jahr 2000 erforderlich machen.** Die Vertragsparteien der Konvention sind übereingekommen, daß die entwickelten Länder sich rechtsverbindlich verpflichten, ihre gemeinsamen Emissionen von sechs Treibhausgasen innerhalb des Zeitraums 2008 bis 2012 gegenüber dem Niveau im Jahr 1990 um mindestens 5 Prozent zu reduzieren. Das Protokoll richtet außerdem ein System zum Handel von Emissionen sowie einen „Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung“ ein.

◆ **Kurz- und mittelfristig gibt es viele Möglichkeiten zur Reduzierung der Emissionen.** Die politischen Entscheidungsträger können eine effizientere Nutzung der Energie und andere klimaschonende Trends sowohl im Hinblick auf das Angebot als auch auf den Verbrauch von Energie fördern. Die größten Energieverbraucher sind Industriebetriebe, Haushalte, Büros, Fahrzeuge und landwirtschaftliche Betriebe. Die Effizienz kann weitgehend durch die Vorgabe geeigneter wirtschaftlicher und rechtlicher Rahmenbedingungen für Verbraucher und Investoren gesteigert werden. Solche Rahmenbedingungen sollten kostenwirksame Maßnahmen, die besten aktuellen und zukünftigen Technologien sowie sogenannte „no regrets“-Lösungen fördern, d.h. also Modelle, die unabhängig vom Klimawandel wirtschaftlich und umweltpolitisch sinnvoll sind. Eine wichtige Rolle spielen ferner Steuern, Verordnungen über Grenzwerte, handelbare Emissionsgenehmigungen, Informationsprogramme, freiwillige Klimaschutzprogramme und die schrittweise Abschaffung kontraproduktiver Subventionen. Von Bedeutung sind darüber hinaus Änderungen in eingespielten Verhaltensmustern und der Lebensweise der Menschen, von der besseren Planung des öffentlichen Verkehrs bis hin zur Umstellung privater Gewohnheiten, etwa wenn es darum geht, das Licht in ungenutzten Räumen abzuschalten.

◆ **Die Energieausbeute kann in den nächsten 20 bis 30 Jahren ohne zusätzliche Kosten gegenüber dem heutigen Stand um 10 bis 30 Prozent gesteigert werden.** Einige Forscher sind der Meinung, daß in diesem Zeitraum und darüber hinaus noch weit größere Steigerungen möglich sind. Verbesserungen gegenüber der jetzigen Ausgangslage können mit heutigem Wissensstand und mit den derzeit besten verfügbaren Techniken in allen wichtigen Wirtschaftszweigen erzielt werden. Auf längere Sicht wird es möglich sein, die Emissionen in der Industrie auf nahezu Null zu reduzieren – mit allen Vorteilen für Wirtschaft und Umwelt, die sich daraus ergeben.

◆ **Es ist von entscheidender Bedeutung, die Unsicherheitsfaktoren in bezug auf den Klimawandel, seine Auswirkungen und die Kosten für gegensteuernde Maßnahmen zu reduzieren.** Inzwischen muss versucht werden, die Sorge um die Risiken und möglichen Schäden mit dem Streben nach wirtschaftlicher Entwicklung in Einklang zu bringen. In diesem Sinne scheint die im Hinblick auf den Klimawandel vernünftigste Lösung in einem Katalog aufeinander abgestimmter Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung, zur Anpassung an die Auswirkungen und zur Förderung der wissenschaftlichen, technologischen und sozioökonomischen Forschung zu bestehen.

Der Treibhauseffekt

◆ **Das Klima der Erde wird durch einen ständigen Fluß von Sonnenenergie bestimmt.** Diese Energie gelangt hauptsächlich in Form von sichtbarem Licht zu uns. Etwa 30 Prozent werden sofort in den Weltraum reflektiert, doch die 70 Prozent, die aufgenommen werden, dringen zum größten Teil durch die Atmosphäre und erwärmen die Erdoberfläche.

◆ **Die Erde muß diese Energie in Form von Infrarotstrahlung wieder an den Weltraum abgeben.** Die Erde, die viel kälter als die Sonne ist, gibt die Energie nicht als sichtbares Licht, sondern als Infrarot- oder Wärmestrahlung ab. Das entspricht der Hitze, die von einem elektrischen Heizgerät oder Grill abstrahlt, bevor die Heizstäbe rot zu glühen beginnen.

◆ **„Treibhausgase“ in der Atmosphäre verhindern, daß die Infrarotstrahlen auf direktem Weg von der Erdoberfläche in den Weltraum gelangen.** Die Infrarotstrahlung kann nicht – wie sichtbares Licht es tut – direkt durch die Luft dringen. Der größte Teil der abzugebenden Energie wird vielmehr durch Luftströme und Wolken von der Erdoberfläche abtransportiert, bevor er aus Höhen oberhalb der kompaktesten Schichten der Treibhausgashülle in den Weltraum entweicht.

◆ **Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Methan, Stickoxid und die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW).** Mit Ausnahme der FCKW kommen alle diese Gase auch natürlich vor. Zusammen betragen sie weniger als 1 Prozent der Atmosphäre. Das genügt, um einen „natürlichen Treibhauseffekt“ zu produzieren, ohne den die Erde um etwa 30°C kälter wäre – und kein Leben, wie wir es kennen, existieren könnte.

◆ **Das Niveau aller wesentlichen Treibhausgase (vielleicht mit Ausnahme von Wasserdampf) steigt als direkte Folge der menschlichen Aktivitäten.** Die Emissionen von Kohlendioxid (hauptsächlich aus der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas), Methan und Distickstoffoxid (aus der Landwirtschaft und durch geänderte Bodennutzung), Ozon (durch die Auspuffgase von Kraftfahrzeugen) und diverser FCKW (in der Industrie) ändern die Art und Weise, wie die Atmosphäre Energie absorbiert. Aufgrund eines „positiven Feedbacks“ steigen möglicherweise auch die anfallenden Wasserdampfmengen. All dies geschieht mit unerhörter Geschwindigkeit. Das Ergebnis ist unter dem Begriff „verstärkter Treibhauseffekt“ bekannt.

◆ **Das Klimasystem muß sich an die steigenden Treibhausgaskonzentrationen anpassen, um den globalen „Energiehaushalt“ im Gleichgewicht zu halten.** Längerfristig gesehen muß die Erde die Energie ebenso schnell abgeben, wie sie Energie von der Sonne aufnimmt. Da eine dickere Treibhausgasschicht die Energieabstrahlung in den Weltraum verringert, müssen Klimaänderungen eintreten, um das Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener Energie wiederherzustellen.

◆ **Eine der Auswirkungen dieser Anpassung ist die „globale Erwärmung“ der Erdoberfläche und der unteren Atmosphäre.** Das ist aber nicht alles: Die Erwärmung ist die einfachste Art, wie das Klima den Energieüberschuß abbaut. Doch schon der geringste Temperaturanstieg bedingt viele andere Veränderungen: zum Beispiel in der Wolkendecke und den Windverhältnissen. Einige dieser Änderungen können zu einer weiteren Erwärmung führen (positive Feedbacks), andere wieder zu einer Abkühlung (negative Feedbacks).

◆ **Die in der Industrie anfallenden „Sulfataerosole“ können einen örtlich begrenzten Abkühlungseffekt haben.** Schwefelemissionen aus kohle- und erdölbetriebenen Wärmekraft-



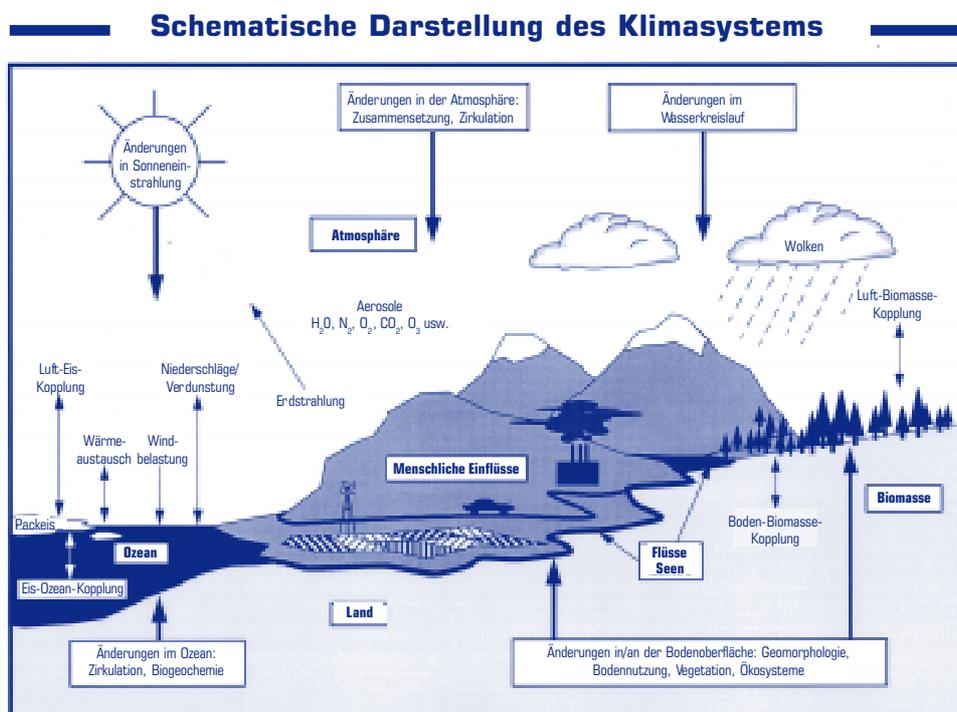
Werken bilden Wolken aus mikroskopisch kleinen Teilchen, die das Sonnenlicht zurück in den Weltraum reflektieren. Das mildert zum Teil die durch den Treibhauseffekt entstehende Erwärmung. Die Sulfataerosole bleiben jedoch im Vergleich zu den langlebigen Treibhausgasen nur relativ kurze Zeit in der Atmosphäre. Außerdem verursachen sie auch negative Erscheinungen wie den sauren Regen. Wir sollten uns also nicht zu sehr darauf verlassen, daß die Sulfataerosole das Klima für alle Zukunft kühl halten.

◆ **Klimamodelle sagen voraus, daß die mittlere Temperatur bei unverändertem Trend bis zum Jahr 2100 weltweit um etwa 2°C ansteigen wird.** Ausgangspunkt dieser Prognose ist das Jahr 1990. Sie berücksichtigt klimabeeinflussende Faktoren (Klima-Feedbacks) und die Auswirkungen der Sulfataerosole nach unserem heutigen Verständnis. Da diesbezüglich noch viele Unsicherheiten bestehen, beziffert man die wahrscheinliche Erwärmung im 21. Jahrhundert mit 1°C bis 3,5°C.

◆ **Feststeht, daß aufgrund von Emissionen in der Vergangenheit gewisse Klimaänderungen eintreten werden.** Das Klima reagiert nicht sofort auf die Emissionen. Die Veränderungen werden daher noch viele Jahre lang weitergehen, nachdem die Treibhausgasemissionen längst verringert sind und sich ihre Konzentrationen in der Atmosphäre stabilisiert haben. Einige einschneidende Folgen des Klimawandels, etwa der vorausgesagte Anstieg des Meeresspiegels, werden uns in ihrem vollen Ausmaß erst viel später bewußt werden.

◆ **Es gibt Anzeichen dafür, daß der Klimawandel bereits begonnen hat.** Klimaschwankungen sind ein natürliches Phänomen, weshalb es schwierig ist, diese oder jene Erscheinung der treibhausgasbedingten Erwärmung zuzuschreiben. Doch die Temperaturtrends der letzten Jahrzehnte lassen in ihrer Konstellation auf die von Modellen vorhergesagte Treibhausgasenerwärmung schließen. Daß diese Trends ausschließlich auf bekannte Ursachen natürlicher Schwankungen („Klima-Variabilität“) zurückführbar sind, ist unwahrscheinlich. Bei aller bestehenden Ungewißheit glauben die Wissenschaftler, daß „die Anzeichen in ihrer Gesamtheit eindeutig den Einfluß des Menschen auf das globale Klima erkennen lassen“.

◆ **Es ist noch zu früh, um Umfang und Zeithorizont des Klimawandels in einzelnen Regionen vorherzusagen zu können.** Die heutigen Klimamodelle können nur auf kontinentaler Ebene Aufschluß über die allgemeinen Tendenzen des Klimawandels geben. Prognosen, wie die Klimaänderungen das Wetter in einer bestimmten Region beeinflussen werden, sind viel schwieriger. Daher sind die konkreten Folgen der „globalen Erwärmung“ für einzelne Länder oder Regionen nach wie vor ungewiß.



Quelle: IPCC 1995

Treibhausgase und Aerosole

◆ **Treibhausgase steuern die Energieflüsse in der Atmosphäre durch die Aufnahme von Infrarotstrahlung.** Diese Spurengase machen knapp 1 Prozent der Atmosphäre aus. Ihre Konzentrationen werden durch das Gleichgewicht zwischen „Quellen“ und „Senken“ bestimmt. Quellen sind Prozesse, die Treibhausgase freisetzen; Senken sind Prozesse, die sie zerstören oder eliminieren. Der Mensch beeinflusst die Treibhausgaskonzentrationen durch die Schaffung neuer Quellen oder durch Eingriffe in natürliche Senken.

◆ **Zum natürlichen Treibhauseffekt trägt hauptsächlich der Wasserdampf bei.** Sein Vorkommen in der Atmosphäre hat nicht direkt mit menschlichen Aktivitäten zu tun. Dennoch ist Wasserdampf aufgrund seines wichtigen positiven Feedbacks für den Klimawandel von Bedeutung. Wärmere Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen, und Modelle zeigen, daß eine geringfügige globale Erwärmung einen Anstieg des Wasserdampfs und damit eine Verstärkung des Treibhauseffekts verursachen würde. Andererseits könnten einige Regionen trockener werden. Da die Erstellung von Modellen klimatischer Prozesse mit Wolken und Regen äußerst schwierig ist, bleibt das genaue Ausmaß dieses entscheidenden Feedbacks unbekannt.

◆ **Kohlendioxid trägt derzeit zu mehr als 60 Prozent zum „verstärken“ Treibhauseffekt bei, der für den Klimawandel verantwortlich ist.** Dieses Gas ist ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre, doch werden bei der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas ungeheure Mengen des in diesen „fossilen Brennstoffen“ enthaltenen Kohlenstoffs freigesetzt. Auch bei der Entwaldung (Abholzung und Brandrodung) entweicht der in den Bäumen gespeicherte Kohlenstoff. Derzeit werden jährlich über 7 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in die Luft geblasen, das entspricht fast einem Prozent des gesamten Kohlendioxidanteils in der Atmosphäre.

◆ **Das durch Aktivitäten des Menschen freigesetzte Kohlendioxid gelangt in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf.** Viele Milliarden Tonnen Kohlenstoff werden alljährlich auf natürlichem Wege zwischen der Atmosphäre, den Meeren und der Landvegetation ausgetauscht. Die Austauschprozesse in diesem riesigen, komplizierten natürlichen System sind genau ausgewogen; in den 10 000 Jahren vor der Industrialisierung scheint sich das Kohlendioxidniveau um weniger als 10 Prozent verändert zu haben. In den 200 Jahren seit 1800 hingegen sind die Konzentrationen um nahezu 30 Prozent gestiegen. Obwohl die Ozeane und die Landvegetation die Hälfte der Kohlendioxidemissionen des Menschen absorbieren, steigt die Konzentration in der Atmosphäre alle 20 Jahre um mehr als 10 Prozent.

◆ **Ein zweiter wichtiger, vom Menschen verursachter Faktor sind die Aerosole.** Diese Wolken mikroskopisch kleiner Partikel sind *kein* Treibhausgas. Neben verschiedenen natürlichen Quellen sind sie ein Produkt von Schwefeldioxid, das hauptsächlich in Kraftwerken sowie bei der Brandrodung und der Verbrennung von Ernterückständen entsteht. Aerosole setzen sich nach nur wenigen Tagen aus der Luft ab, sie werden aber in so riesigen Mengen produziert, daß sie einen erheblichen Einfluß auf das Klima haben.

◆ **Aerosole strahlen das Sonnenlicht in den Weltraum zurück und kühlen dadurch lokal das Klima ab.** Aerosol-Teilchen blockieren zum einen das Sonnenlicht direkt und bilden zum anderen Kondensationskerne, aus denen Wolken entstehen; diese Wolken haben oft ebenfalls eine abkühlende Wirkung. Über stark industrialisierten Regionen kann die Kühlung durch Aerosole fast die gesamte, bis heute eingetretene treibhausgasbedingte Erwärmung ausgleichen.



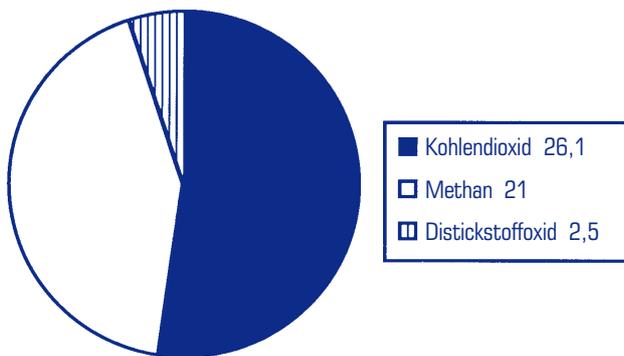
◆ **Methan ist ein starkes Treibhausgas, dessen Niveau sich bereits verdoppelt hat.** Die wichtigsten „neuen“ Verursacher von Methanemissionen finden sich in der Landwirtschaft; vor allem sind es die wasserbedeckten Reisfelder und die immer größeren Viehherden. Methan entsteht auch auf Mülldeponien sowie beim Kohleabbau und der Erdgasproduktion. Die wichtigste Senke für Methan sind chemische Reaktionen in der Atmosphäre, die schwer zu simulieren und vorherzusagen sind.

◆ **Methan aus vergangenen Emissionen trägt 15 bis 20 Prozent zum verstärkten Treibhauseffekt bei.** Der spürbare Anstieg von Methan begann später als der von Kohlendioxid, doch Methan holt rasch auf. Es bleibt allerdings nur 12 Jahre in der Atmosphäre, während Kohlendioxid die Atmosphäre viel länger belastet. Das heißt, daß die relative Bedeutung von Methan im Vergleich zu Kohlendioxidemissionen vom „Zeithorizont“ abhängt. So haben etwa die Methanemissionen der achtziger Jahre während des 20-Jahres-Zeitraums 1990-2010 voraussichtlich 80 Prozent der Wirkung der Kohlendioxidemissionen desselben Jahrzehnts, aber nur 30 Prozent von deren Wirkung über den 100-Jahres-Zeitraum 1990-2090 (siehe Abbildung).

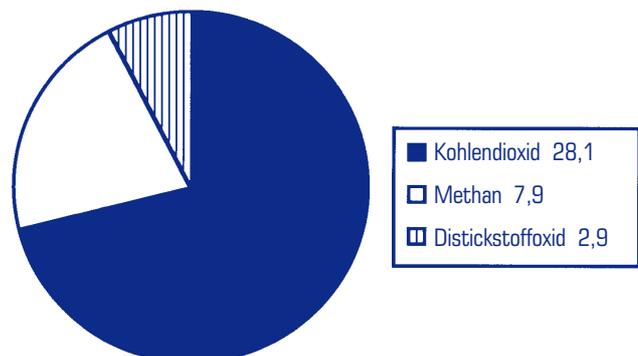
◆ **Die restlichen 20 Prozent des verstärkten Treibhauseffekts steuern Distickstoffoxid, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Ozon bei.** Die Distickstoffoxidkonzentrationen haben sich – hauptsächlich durch vermehrte landwirtschaftliche Aktivitäten – um 15 Prozent erhöht. Der FCKW-Ausstoß stieg stetig bis Anfang der neunziger Jahre; die wichtigsten Fluorchlorkohlenwasserstoffe haben sich aber seither dank der strengeren Emissionskontrolle aufgrund des Montrealer Protokolls zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht stabilisiert. Ozon ist ein weiteres natürliches Treibhausgas, dessen Konzentration in einigen Regionen durch die Luftverschmutzung in Bodennähe im Ansteigen begriffen ist, während sie in der Stratosphäre abnimmt.

◆ **Die Treibhausgasemissionen als Folge menschlicher Aktivitäten haben den globalen Energiehaushalt bereits im Ausmaß von etwa 2,5 Watt pro Quadratmeter gestört.** Das entspricht rund einem Prozent der auf die Erdoberfläche gelangenden Netto-Sonnenenergie, die das Klimasystem steuert. Ein Prozent mag bescheiden klingen, bedeutet aber für die gesamte Erdoberfläche den Energiegehalt von 1,8 Millionen Tonnen Erdöl pro Minute oder das Hundertfache des heutigen kommerziellen Weltenergieverbrauchs. Da die Treibhausgase nur ein Nebenprodukt des Energieverbrauchs sind, ist es paradox, daß sich die von den Menschen tatsächlich verbrauchte Energie im Vergleich zu den Auswirkungen der Treibhausgase auf die natürlichen Energieflüsse im Klimasystem geradezu bescheiden ausnimmt.

20-jähriger Zeithorizont



100-jähriger Zeithorizont



Relative Auswirkungen der Kohlendioxid-, Methan- und Distickstoffoxidemissionen der achtziger Jahre unter Berücksichtigung ihrer kumulativen Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde über einen 20- bzw. 100-jährigen Zeitraum. Methan hat eine Verweilzeit in der Atmosphäre von nur etwa 12 Jahren, wodurch seine Wirkung bei längerer Betrachtungsdauer abnimmt. Für Methan wurden auch die indirekten Auswirkungen berücksichtigt. Ozon und FCKW sind nicht dargestellt, da ihre derzeitigen Emissionsraten nicht genau bekannt sind bzw. sich rasch ändern.
Quelle: IPCC94 mit aktualisierten Daten aus IPCC95

Wie werden sich die Treibhausgaskonzentrationen in Zukunft ändern?

◆ **Die zukünftigen Treibhausgasemissionen werden von der Weltbevölkerung sowie von den wirtschaftlichen, technischen und sozialen Entwicklungen abhängen.**

Der Zusammenhang mit der Bevölkerung ist klar: Je mehr Menschen es gibt, umso höher werden vermutlich die Emissionen sein. Weniger klar ist der Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Reiche Länder haben einen höheren Pro-Kopf-Ausstoß an Schadstoffen als arme Länder. Länder mit vergleichbarem Wohlstand können jedoch abhängig von ihren geographischen Gegebenheiten, den von ihnen genutzten Energiequellen und der Effizienz, mit der sie Energie und andere natürliche Ressourcen nutzen, erhebliche Unterschiede in den Emissionsraten aufweisen.

◆ **Als Orientierungshilfe für politische Entscheidungsträger entwerfen Ökonomen „Szenarios“ für zukünftige Emissionen.**

Ein Szenario ist keine Vorhersage. Es ist vielmehr eine Methode, um die Auswirkungen bestimmter Annahmen über zukünftige Trends, darunter auch mögliche politische Konzepte in bezug auf Treibhausgase, zu ermitteln. Abhängig von den Annahmen kann ein Szenario steigende, gleichbleibende oder abnehmende Emissionen ergeben.

◆ **Die meisten Szenarios lassen darauf schließen, daß der zukünftige Anstieg der Emissionsraten weitgehend vom weiteren Geschehen in den Entwicklungsländern bestimmt sein wird.**

Bisher stammten die Emissionen fast zur Gänze aus den Industriestaaten. Das zukünftige Wachstum wird aber voraussichtlich in den Schwellen- und Entwicklungsländern stattfinden, in denen Wirtschaft und Bevölkerung am schnellsten wachsen – und für die alle Versuche einer Vorhersage mit einem großen Unsicherheitsfaktor behaftet sind.

◆ **In einem typischen „Nicht-Interventions-Szenario“ erhöhen sich die Kohlendioxidemissionen von 1990 bis 2100 von jährlich 7 Milliarden Tonnen auf 20 Milliarden Tonnen.**

„Nicht-Intervention“ bedeutet, daß keine neuen politischen Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen als Reaktion auf den drohenden Klimawandel getroffen werden. Es bedeutet nicht, daß sich sonst nichts ändert: in diesem speziellen Szenario (mit der Bezeichnung IS92a) verdoppelt sich die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2100 bei gleichbleibendem Wirtschaftswachstum von 2 bis 3 Prozent pro Jahr. (Es sei daran erinnert, daß Szenarios auf Annahmen beruhen, die durchaus falsch sein können.)

◆ **Dieses Szenario führt zu einem Ergebnis, das einer Verdoppelung der vorindustriellen CO₂-Konzentrationen bis 2030 und einer Verdreifachung bis 2100 entspricht.**

Darin sind auch die Auswirkungen anderer Treibhausgasemissionen berücksichtigt, die in Kohlendioxid-Äquivalente umgerechnet wurden. Bereits die Verdoppelung der vorindustriellen Kohlendioxidkonzentrationen würde für langlebige Treibhausgase Werte ergeben, wie es sie in Millionen von Jahren nicht gegeben hat.

◆ **Unterschiedliche Annahmen über Quellen und Senken ergeben unterschiedliche Resultate.**

Da Ungewißheit in bezug auf die zukünftigen Emissionen besteht, versucht man, deren voraussichtliche Konzentrationen in der Atmosphäre anhand von Modellen für den Kohlenstoffkreislauf und die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre zu ermitteln. Das bringt einen weiteren Unsicherheitsfaktor ins Spiel, da unbekannt ist, wie die wichtigsten Senken (Prozesse, die Treibhausgase absorbieren oder zerstören) auf den Klimawandel reagieren werden. So weiß man zum Beispiel, daß



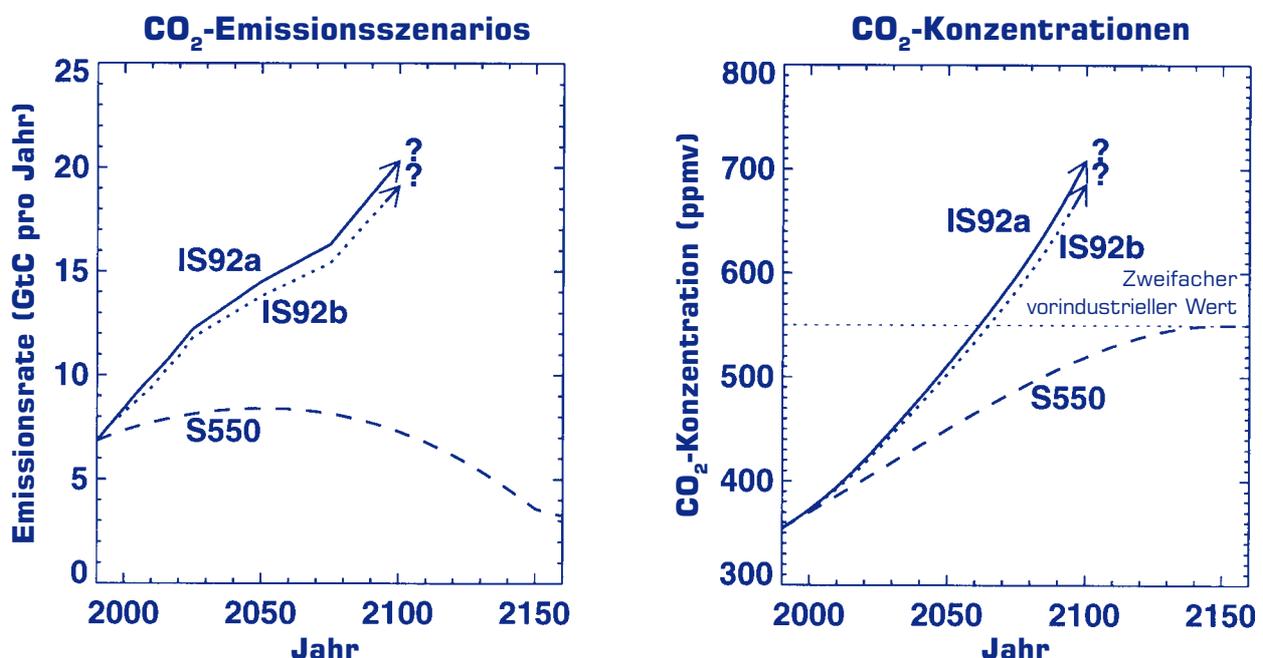
erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen das Pflanzenwachstum fördern (der sogenannte „CO₂-Dünge-Effekt“). Die Pflanzen nehmen über die Photosynthese vermehrt Kohlendioxid auf. Dieser Effekt und der Waldnachwuchs in den nördlichen Ländern können möglicherweise bis zu 25 Prozent des anthropogenen (vom Menschen produzierten) Kohlendioxids absorbieren. Niemand weiß jedoch, wie diese Senke in Zukunft reagieren wird, wenn mehr Land zur Nahrungsmittelproduktion gebraucht wird. Der Trend könnte sich in sein Gegenteil verkehren.

◆ **„Interventionsszenarios“ sollen die Erfolgsaussichten von Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen messen.** Sie basieren nicht nur auf Annahmen über das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, sondern auch auf Prognosen darüber, wie sich die zukünftigen Gesellschaften angesichts politischer Maßnahmen wie der Besteuerung kohlenstoffreicher, fossiler Brennstoffe verhalten werden.

◆ **Bestehende internationale Verpflichtungen könnten den Anstieg der Emissionen im Verlauf des 21. Jahrhunderts in bescheidenem Maße bremsen.** Die entwickelten Länder haben sich in der Klimakonvention verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen. Wenn dieses Vorhaben gelingt, verzögert sich die Verdoppelung der CO₂-Konzentrationen um nicht einmal fünf Jahre. Um einen nachhaltigeren Rückgang der atmosphärischen Konzentrationen zu erreichen, müßten alle Länder ihre Emissionen drastisch verringern.

◆ **Ein Einfrieren der weltweiten CO₂-Emissionen auf ihrem derzeitigen Niveau würde den Anstieg von CO₂ auf den doppelten Wert bis zum Jahr 2100 hinauszögern.** Obwohl ein solches Szenario weit über alle Maßnahmen hinausgeht, die derzeit im Gespräch sind, würde es immer noch nicht ausreichen, um den weiteren Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen weit über das Jahr 2100 hinaus zu verhindern. Will man die Kohlendioxidkonzentrationen im Verlauf des 22. Jahrhunderts auf dem doppelten Wert ihres vorindustriellen Niveaus stabilisieren, müßten die Emissionen trotz wachsender Bevölkerung und expandierender Weltwirtschaft auf unter 30 Prozent ihres heutigen Ausmaßes reduziert werden.

◆ **Die Beseitigung der Ungewißheit über die Auswirkungen des Klimawandels und die Kosten verschiedener Gegenmaßnahmen sind von lebenswichtiger Bedeutung für politische Entscheidungsträger.** Die Stabilisierung bzw. Reduzierung der weltweiten Emissionen würde einschneidende Änderungen für praktisch alle menschlichen Aktivitäten bedeuten. Um zu entscheiden, ob sich das auch lohnt, müssen wir wissen, wie hoch die Kosten sind und womit wir zu rechnen haben, wenn wir die Emissionen ungebremst weiter ansteigen lassen. Dabei kommen auch heikle moralische Fragen ins Spiel: Was sind wir bereit in das Klima des 22. Jahrhunderts zu investieren, das erst unsere Kindeskinde erleben werden?



Die zukünftigen Kohlendioxidemissionen (Abb. links) für eine Reihe politischer Szenarios und die entsprechenden Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre (Abb. rechts) gehen auf Schätzungen eines Kohlenstoffkreislauf-Modells zurück. Das Szenario IS92a geht davon aus, daß die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2100 auf 11,3 Milliarden anwächst, die Wirtschaft weiterhin jährliche Wachstumsraten von 2,3-2,9 Prozent verzeichnet und keine aktiven Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen ergriffen werden. IS92b basiert auf denselben Annahmen in bezug auf das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, legt aber die Annahme zugrunde, daß viele OECD-Staaten Maßnahmen zur Stabilisierung bzw. Reduzierung der Emissionen ergreifen. S550 zeigt eine Emissionskonfiguration, bei der sich CO₂ kurz nach 2100 auf etwa dem Doppelten seines vorindustriellen Werts stabilisieren würde. GtC steht für Milliarden Tonnen Kohlenstoff, ppmv für parts per million by volume.
Quelle: Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Großbritannien

Wie wird sich das Klima ändern?

◆ **Wenn nichts zur Verringerung der Emissionen unternommen wird, sagen aktuelle Klimamodelle eine globale Erwärmung von etwa 2°C zwischen 1990 und 2100 voraus.**

Dabei sind die Auswirkungen der Aerosole und der Verzögerungseffekt der Meere berücksichtigt. Diese thermische Trägheit der Meere bedeutet, daß die Erdoberfläche und die erdnahen Schichten der Atmosphäre sich um weitere 1°C bis 2°C erwärmen werden, selbst wenn der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen im Jahr 2100 zum Stillstand kommt.

◆ **Die vorhergesagte Bandbreite des Temperaturanstiegs liegt zwischen 1°C und 3,5°C.**

Selbst ein Temperaturanstieg von nur 1°C ginge weit über jeden Jahrhunderttrend der letzten 10 000 Jahre hinaus. Unsicherheiten in bezug auf zukünftige Emissionen, Klima-Feedbacks und das Ausmaß der Verzögerung durch die Meere tragen alle dazu bei, daß der zu erwartende Temperaturanstieg nicht genauer prognostiziert werden kann.

◆ **Der mittlere Meeresspiegel der Erde wird bis 2100 vermutlich um rund 50 Zentimeter steigen.**

Auch hier besteht eine erhebliche Unsicherheitsspanne – 15 bis 95 Zentimeter –, und Änderungen in den Meeresströmungen könnten dazu führen, daß der Meeresspiegel an manchen Orten oder in manchen Regionen erheblich stärker oder erheblich weniger ansteigt als der weltweite Durchschnitt. Die Hauptursache für diesen Anstieg ist die thermische Ausdehnung in den sich erwärmenden obersten Schichten des Ozeans; hinzu kommt das Schmelzwasser der Gletscher. Das etwas raschere Abschmelzen der Eismassen in Grönland und der Antarktis wird wahrscheinlich durch stärkere Schneefälle in beiden Regionen kompensiert werden. Wenn jedoch die Erwärmung die tieferen Schichten des Meeres erreicht und das Eis weiter schmilzt, wird der Meeresspiegel auch nach einer Stabilisierung der Oberflächentemperaturen weiter ansteigen.

◆ **Noch unsicherer sind Vorhersagen über die regionale und saisonale Erwärmung.**

Es ist zwar davon auszugehen, daß die Erwärmung fast alle Gebiete erfassen wird, doch werden einige spürbar stärker betroffen sein als andere. Der größte Temperaturanstieg wird in den kalten Regionen des Nordens im Winter erwartet, und zwar deshalb, weil Schnee und Eis das Sonnenlicht reflektieren. Weniger Schnee bedeutet, daß mehr Sonnenenergie aufgenommen wird – ein starker positiver Feedback-Effekt, der die Erwärmung begünstigt. Bis 2100 werden sich die nördlichen Teile Kanadas und Sibiriens im Winter voraussichtlich um bis zu 10°C erwärmen, im Sommer hingegen nur um knapp 2°C.

◆ **Regionen im Landesinneren werden sich den Vorhersagen zufolge rascher erwärmen als die Meere und Küstengebiete.**

Dafür sorgt einzig und allein die Verzögerungswirkung der Meere, die verhindert, daß sich die Meeresoberfläche ebenso schnell erwärmt wie Landgebiete. Wie stark dieser Verzögerungseffekt ist, hängt davon ab, in welche Meerestiefen der Temperaturanstieg vordringt. In den meisten Ozeanen kommt es zu keiner Vermischung der mehrere hundert Meter tiefen obersten Wasserschicht mit dem darunter gelegenen Wasser. Die obersten Schichten werden sich in einigen wenigen Jahren erwärmen, während die Tiefsee kalt bleibt. Zu einer Vermischung bis hinunter in die tieferen Meeresschichten kommt es nur in wenigen, sehr kalten Regionen, etwa im Atlantik südlich von Grönland und im südlichen Eismeer nahe der Antarktis. In diesen Regionen wird die Erwärmung später auftreten, da viel mehr Wasser erwärmt werden muß, um an der Oberfläche dieselbe Temperaturänderung zu erreichen.

◆ **Aerosole können in großen Industriegebieten die Auswirkungen der durch Treibhausgasemissionen verursachten Erwärmung teilweise auffangen.** Wolken aus winzigen



Sulfatteilchen, die bei der Verbrennung von Kohle und Erdöl entstehen, dürften der treibhausgasbedingten Erwärmung über großen Teilen der östlichen USA, Osteuropas und Teilen Chinas entgegenwirken. Da aber aufgrund des sauren Regens damit zu rechnen ist, daß Maßnahmen zur Reduzierung der Schwefelemissionen ergriffen werden, kann nicht abgeschätzt werden, inwieweit diese Wirkung tatsächlich zum Tragen kommt.

◆ **Den Vorhersagen zufolge werden die Gesamtniederschläge zunehmen, über die regionalen Trends herrscht allerdings noch große Unsicherheit.** Die Niederschläge im Winter werden im hohen Norden wahrscheinlich zunehmen; was hingegen in den mittleren Breiten und in den Tropen zu erwarten ist, hängt stark vom jeweiligen Klimamodell bzw. Emissionsszenario ab. Berücksichtigt man etwa die Wirkung der Aerosole, werden nach den beiden Modellen, an denen dieses Experiment bisher durchgespielt wurde, die sommerlichen Monsunregen in Asien wesentlich schwächer ausfallen.

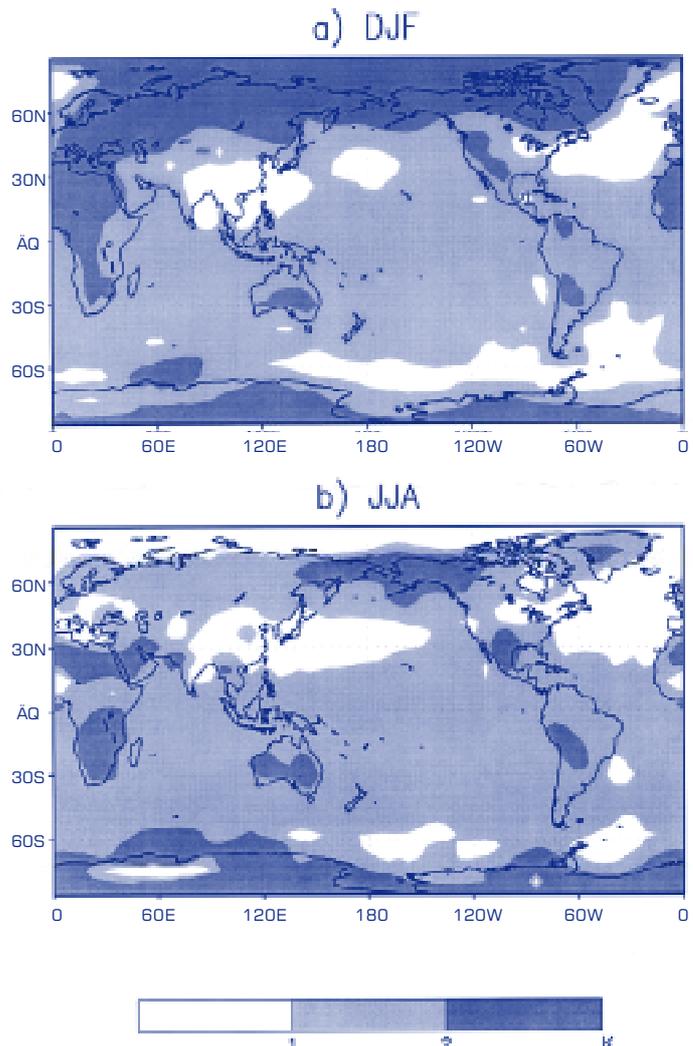
◆ **In höheren Breiten werden stärkere Regen- und Schneefälle zu feuchteren Bodenverhältnissen im Winter führen, während höhere Temperaturen im Sommer trockeneren Boden bedeuten können.** Örtliche Änderungen in der Bodenfeuchtigkeit sind für die Landwirtschaft von großer Bedeutung, doch gelingt es mit den vorhandenen Modellen noch immer nicht, sie angemessen zu simulieren. Es steht nicht einmal fest, ob sich die Bodenfeuchtigkeit im Sommer global gesehen erhöhen oder verringern wird.

◆ **Es kann zu Änderungen in der Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse wie Unwetter und Wirbelstürme kommen.** Modelle geben aber noch keinen Aufschluß über die Art der zu erwartenden Änderungen. Die Modelle zur Simulation von Klimaänderungen können diese extremen Wetterereignisse nicht selbst nachbilden, und man ist daher auf indirekte Indizien angewiesen. Die Sorge, daß sich Vorkommen und Verteilung extremer Wetterereignisse ändern könnten, leitet sich aus dem Umstand ab, daß die Modelle Änderungen der Oberflächentemperaturen der Meere und anderer Faktoren voraussagen, von denen man weiß, daß sie den Ablauf von Unwettern und Wirbelstürmen beeinflussen. Es wird aber noch Jahre dauern, bis die Wissenschaftler vorhersagen können, ob bestimmte Regionen mehr oder weniger von Stürmen betroffen sein werden.

◆ **Schnelle und unerwartete Klimasprünge sind nicht auszuschließen.** Die dramatischste Änderung dieser Art, der Einbruch der westantarktischen Eisdecke, der zu einem Anstieg des Meeresspiegels von katastrophalem Ausmaß führen würde, wird nach derzeitigem Stand für die nächsten hundert Jahre als unwahrscheinlich angesehen. Zwar liegen Anzeichen vor, daß Änderungen in den Meeresströmungen, die die regionalen Klimaverhältnisse nachhaltig beeinflussen (zum Beispiel die Abschwächung des Golfstroms, der Wärme nach Europa bringt), innerhalb weniger Jahrzehnte stattfinden können; nicht bekannt ist hingegen, ob eine solche Änderung durch die treibhausgasbedingte Erwärmung herbeigeführt werden kann. Äußere Faktoren, wie etwa eine Serie von Vulkanausbrüchen oder eine Änderung in der Sonneneinstrahlung, könnten ebenfalls massive Auswirkungen haben; derzeit scheint aber festzustehen, daß der Klimawandel über das gesamte 21. Jahrhundert hinweg wahrscheinlich von den Auswirkungen der Treibhausgasemissionen beherrscht sein wird.

Änderungen in der Oberflächentemperatur nach einem Modell, das durch die Auswirkungen sich ändernder Treibhausgas- und Sulfataerosolkonzentrationen ergänzt wurde. Die Karten zeigen den Unterschied zwischen dem Zehnjahreszeitraum 2040-2049 und den Jahren 1950-1979 für die Monate a) Dezember-Januar-Februar und b) Juni-Juli-August. Weiß zeigt eine Erwärmung um weniger als 1°C an, die helle Schattierung um 1-2°C und die dunkle Schattierung um mehr als 2°C. Beachten Sie die stärkere Erwärmung über den Landgebieten im Vergleich zu den Meeresflächen und daß der stärkste Temperaturanstieg im Winter in den hohen Breiten zu verzeichnen ist.

Quelle: Deutsches Klimarechenzentrum



Hat der Klimawandel schon begonnen?

◆ **Das Klima der Erde paßt sich bereits an die Treibhausgasemissionen der Vergangenheit an.** Das Klimasystem muß sich auf die veränderten Treibhausgaskonzentrationen einstellen, um den globalen Energiehaushalt im Gleichgewicht zu halten. Das bedeutet, daß sich das Klima ändert und sich auch in Zukunft ändern wird, solange die Treibhausgaskonzentrationen weiter ansteigen. Doch diese Erkenntnis hilft uns nicht weiter: Viel wichtiger ist es zu wissen, wie einschneidend die Klimaänderungen im Vergleich zu den natürlichen Klimaschwankungen sein werden, an die der Mensch und die natürlichen Ökosysteme sich anzupassen gelernt haben.

◆ **Historische Meßdaten zeigen, daß die mittlere Temperatur seit 1860 weltweit um 0,3°C bis 0,6°C gestiegen ist.** Das stimmt mit den Modellprojektionen über die bisher stattgefundene Erwärmung überein, vor allem dann, wenn der Kühlungseffekt der Schwefel-emissionen mitberücksichtigt wird. Vor 1900 gab es jedoch nur spärliche Beobachtungen, und die Erwärmung fand größtenteils zwischen 1910 und 1940 statt, also noch vor dem sprunghaften Anstieg der Treibhausgasemissionen. Das ist ein eindeutiger Hinweis darauf, daß das Klimageschehen nicht ausschließlich eine unmittelbare Reaktion auf die Emissionen ist – eine Tatsache, die nicht überrascht, da das Klima ein kompliziertes und chaotisches System ist.

◆ **Der mittlere Meeresspiegel ist um 10 bis 25 Zentimeter gestiegen und die Berggletscher weichen zurück.** Mit der Erwärmung der oberen Ozeanschichten dehnt sich das Wasser aus und der Meeresspiegel steigt. Auch anhand von Modellen läßt sich feststellen, daß eine Erwärmung um 0,3°C bis 0,6°C einen Anstieg des Meeresspiegels um 10 bis 25 Zentimeter bewirken müßte. Aber der tatsächliche und sichtbare Meeresspiegel wird auch durch andere Änderungen beeinflusst, die schwerer vorherzusagen sind, insbesondere durch Schneefall und Eisschmelze in Grönland und der Antarktis und die langsame „Hebung“ der nördlichen Kontinente, die vom Gewicht der Gletscher aus der Eiszeit befreit werden. Fast alle bekannten Berggletscher sind im letzten Jahrhundert zurückgegangen, doch wie beim Meeresspiegel erklärt sich dieses Phänomen sicherlich nicht allein durch die Änderung der Treibhausgaskonzentrationen.

◆ **Der beobachtete Trend der globalen Erwärmung ist stärker als alle Trends, die aufgrund von Modellen ausschließlich auf natürliche Klimaschwankungen zurückgeführt werden könnten.** Ein grundlegendes Problem in der Erforschung des Klimawandels besteht darin, daß die Wissenschaftler keine Möglichkeit haben, direkte Beobachtungen darüber anzustellen, was geschehen wäre, wenn die Menschen nicht in das Klima eingegriffen hätten. Es gibt also keine direkte Möglichkeit, die „Signale“ des Treibhauseffekts vom „Hintergrundrauschen“ der natürlichen Klimaschwankungen zu unterscheiden. Statt dessen versucht man anhand von Computermodellen über den Klimawandel, denen konstante Treibhausgasemissionen zugrundegelegt werden, die natürlichen Klimaschwankungen zu schätzen. Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß es sich bei dem Erwärmungstrend von 0,3°C bis 0,6°C pro Jahrhundert eher nicht um zufällige Schwankungen handelt. Allerdings läßt die Auswertung der Klimaverhältnisse der Vergangenheit vermuten, daß die Modelle das Ausmaß der natürlichen Klimaschwankungen unterschätzen und die Bedeutung der Signale möglicherweise überbewerten.

◆ **Klimamodelle lassen viele Ursachen von Schwankungen unberücksichtigt, die ebenfalls sichtbare langfristige Trends bewirken können.** Derzeit vorliegende Modell-Schätzungen in bezug auf natürliche Schwankungen lassen die Auswirkungen von Vulkanausbrüchen außer acht, die das globale Klima vorübergehend um mehrere Zehntel Grad abkühlen können. Außerdem beginnen sie erst jetzt, die Auswirkungen langfristiger Änderungen in der Sonneneinstrahlung miteinzubeziehen. Die Sonne könnte für die relativ kühlen Perioden im 16., 17. und 19. Jahrhundert (der sogenannten „Kleinen Eiszeit“) verantwortlich gewesen sein, als die nördliche Halbkugel vermutlich um rund



0,5°C kälter war als heute. Die – nach jüngsten Modellergebnissen etwa 20- bis 30prozentige – Erwärmung im vergangenen Jahrhundert könnte unter anderem noch immer Teil des darauffolgenden Erholungsprozesses sein.

◆ **Modelle können auch dazu dienen, den allgemeinen Ablauf des Klimawandels vorherzusagen.** Da die globale Durchschnittstemperatur von so vielen unbekanntem Faktoren beeinflusst wird, zögern die Wissenschaftler, die Erwärmung ausschließlich auf die Treibhausgase zurückzuführen. Deshalb suchen sie nach Ähnlichkeiten zwischen beobachteten Änderungsmustern und den von Klimamodellen ermittelten Mustern.

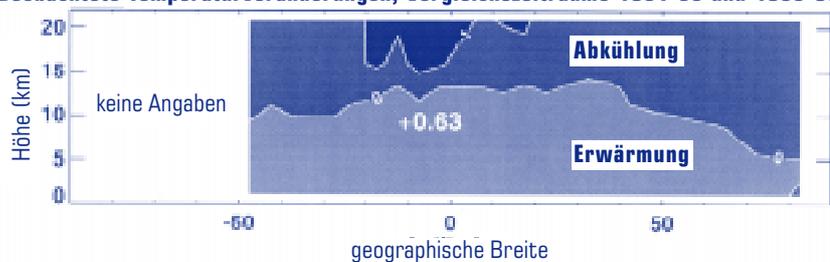
◆ **Mehrere Untersuchungen haben ergeben, daß Modellvorhersagen über Temperaturveränderungsmuster immer besser mit den diesbezüglichen Beobachtungen übereinstimmen.** Untersuchungen über die Oberflächentemperaturen anhand vorhandener Aufzeichnungen lassen darauf schließen, daß sich die Landmassen rascher erwärmen als die Ozeane. Sie weisen auch eine geringere Erwärmung in Gebieten mit Sulfataerosol-Belastung und in den Meeresabschnitten nach, in denen eine Wasserdurchmischung bis in große Meerestiefen stattfindet und die Wärme besser verteilt wird. Zu denselben Feststellungen gelangen auch Modelle. Es gibt jedoch noch unerforschte Regionen, und die Beobachtungen erfolgen nicht überall auf dieselbe Weise (z. B. werden auf dem Land andere Methoden angewendet als im Meer). Systematischere, aber viel weniger weit zurückreichende Aufzeichnungen liefern Wetterstationen über die Lufttemperatur. Sie zeigen eine Abkühlung in der Stratosphäre (in etwa über 10 Kilometer Höhe) und eine Erwärmung in der Troposphäre (der erdnahen Atmosphäreschicht), was ebenfalls den Vorhersagen von Klimamodellen entspricht (siehe Abbildung).

◆ **Satellitenaufzeichnungen gibt es erst seit zu kurzer Zeit, um signifikante Trends erkennen zu lassen.** Das Klima muß mehrere Jahrzehnte lang beobachtet werden, bevor es möglich ist, zwischen Anzeichen für einen Klimawandel und natürlichen Klimaschwankungen zu unterscheiden. Die ältesten Satellitenaufzeichnungen reichen knapp 20 Jahre zurück. Modelle haben jedoch ergeben, daß Daten über eine so kurze Zeitspanne nicht aussagekräftig sind; zu den Satellitendaten ist daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur zu sagen, daß sie mit Klimamodell-Entwürfen und mit Erkenntnissen aus konventionellen Beobachtungen übereinstimmen. Diese Daten haben allerdings den Vorteil, daß sie die ganze Erde erfassen und somit zur besseren Verifikation von Modellen wie auch zur Reduktion von Unsicherheitsfaktoren beitragen.

◆ **Die bisher vorliegenden Erkenntnisse deuten darauf hin, daß Änderungen der jüngsten Zeit wahrscheinlich nicht ausschließlich auf bekannte Ursachen für natürliche Schwankungen zurückzuführen sind.** Das Muster der Veränderungen scheint auf einen gewissen Einfluß des Menschen hinzuweisen, der dem von Klimamodellen vorausgesagten durchaus ähnlich und in seinen Auswirkungen stärker ist, als es natürliche Klimaschwankungen erwarten lassen. Die Frage ist jedoch noch nicht endgültig geklärt, da vor allem nicht feststeht, inwieweit die derzeitigen Modelle in der Lage sind, natürliche Schwankungen realistisch zu simulieren. Dennoch ist es für viele Modellforscher beruhigend zu wissen, daß die Modelle ungefähr in die richtige Richtung weisen.

◆ **Ein wesentliches Problem ist und bleibt die ungeklärte Frage, inwieweit Modelle fähig sind, natürliche Klimaschwankungen zu simulieren.** Wie bei der Ermittlung von Trends in der weltweiten Durchschnittstemperatur sind die Wissenschaftler auf Klimamodell-Simulationen angewiesen, um herauszufinden, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß ein gewisses Maß an Übereinstimmung zwischen dem Modell und den beobachteten Änderungsmustern nur dem Zufall zu verdanken ist. Es gibt eine ganze Reihe von Ursachen für natürliche Schwankungen, die von diesen Modellen nur schlecht oder gar nicht simuliert werden können, und eine davon könnte einem Muster zuzuordnen sein, das dem der treibhausgasbedingten Erwärmung gleicht. Es besteht also nach wie vor große Unsicherheit in bezug auf Umfang und Ursache der gegenwärtigen Indizien und über das Ausmaß zukünftiger Veränderungen.

Beobachtete Temperaturveränderungen, Vergleichszeiträume 1961-80 und 1986-95



Simulierte Veränderung aufgrund von Treibhausgasen, Aerosolen und Ozon

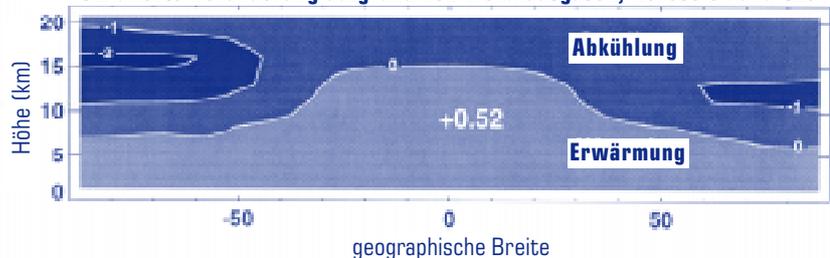


Abb. oben: Senkrechtes Muster der Temperaturveränderungen in einem Nord-Süd-Schnitt durch die Atmosphäre, über alle Längengrade gemittelt, wie es in den letzten 35 Jahren zu beobachten war. Abb. unten: Derselbe Längsschnitt in einer Klimamodell-Simulation über denselben Zeitraum unter Berücksichtigung von Veränderungen in den Treibhausgaskonzentrationen sowie von Sulfataerosolen und stratosphärischem Ozon. Die y-Achse zeigt die Höhe über der Oberfläche, die x-Achse die Breitengrade. Das Erwärmungsmuster (hellste Schattierung) unter 7-12 km und das Abkühlungsmuster (dunklere Schattierungen) oberhalb dieses Bereichs sind in beiden Abbildungen gleich. Das Modell scheint die Wirkungskraft des Musters annähernd korrekt vorherzusagen, obwohl immer noch merkliche Unterschiede bestehen. Quelle: Tett, Mitchell, Parker and Allan, Science, Band 247, S. 1170-1173, 1976; die Abbildungen wurden vom Hadley Centre for Climate Prediction and Research und vom Space Science Department des Rutherford Appleton Laboratory (Großbritannien) zur Verfügung gestellt.

Rückschlüsse aus Klimamodellen

◆ **Das Klimasystem ist außerordentlich komplex.** Es gibt daher keine einfache Methode, die Aufschluß darüber geben könnte, in welchem Ausmaß sich das Klima als Reaktion auf die steigenden Treibhausgaskonzentrationen ändern wird. Würden sich nur die Luft- und die Oberflächentemperatur ändern, wäre es leicht, eine Erwärmung um 1°C bis 1,5°C bis zum Jahr 2100 vorherzusagen, wenn man davon ausgeht, daß sich die derzeitigen Emissionstrends fortsetzen. Aber dieser Wert für die „direkte Reaktion“ (der unter der gegenwärtig besten Schätzung für die zukünftige Erwärmung liegt) ist mehr oder weniger bedeutungslos, da sich das Klimasystem unmöglich um mehr als 1°C erwärmen kann, ohne gleichzeitig andere Veränderungen zu bewirken.

◆ **Deshalb sind zum besseren Verständnis des Klimawandels komplexe Computer-Simulationen unerlässlich.** Wissenschaftler können anhand von Computern die zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten des Klimasystems darstellen. Die detailliertesten Entwürfe beruhen auf kombinierten allgemeinen Kreislaufmodellen der Atmosphäre und der Ozeane (AOGCM). Sie sind den Modellen zur Wettervorhersage nicht unähnlich, in denen die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Bewegungen in der Atmosphäre auf ein System von Gleichungen zurückgeführt werden, die von Supercomputern gelöst werden. Klimamodelle müssen jedoch auch Gleichungen für das Verhalten der Ozeane, der Landvegetation und der Kryosphäre (Treibeis, Gletscher und Eiskappen) enthalten.

◆ **„Positive Feedbacks“ durch Verdunstung, Schnee und Eis können die direkte Reaktion auf Treibhausgasemissionen um den Faktor zwei bis drei verstärken.** Schnee und Eis reflektieren das Sonnenlicht sehr stark. Wenn durch eine leichte Erwärmung die Schneeschmelze früher im Jahr eintritt, nimmt der darunterliegende Boden mehr Energie auf, was zu einer weiteren Erwärmung führt. Das ist der Hauptgrund, warum angenommen wird, daß sich die Erwärmung vornehmlich in den Wintertemperaturen der nördlichen Regionen bemerkbar machen wird. Das „Feedback“ durch Wasserdampf übt einen noch größeren Einfluß aus: Wasserdampf ist an sich ein starkes Treibhausgas, und Modelle sagen voraus, daß sich durch die globale Erwärmung die Wasserdampfkonzentrationen in der unteren Atmosphäre erhöhen werden.

◆ **Veränderungen in der Bewölkung, den Meeresströmungen sowie in chemischen und biologischen Vorgängen können die Reaktion verstärken oder abschwächen.** Die Modelle sagen übereinstimmend voraus, daß sich die Bewölkung in einer wärmeren Welt ändern wird, was abhängig von Art und Ort der Wolken unterschiedliche Auswirkungen haben kann. Wolken reflektieren das Sonnenlicht, woraus zu schließen wäre, daß mehr Wolken eine Abkühlung bedeuten. Die meisten Wolken, vor allem die in großen Höhen, üben aber auch eine isolierende Wirkung aus: Sie sind sehr kalt und geben daher Energie relativ ineffektiv an den Weltraum ab, wodurch sie mithelfen, den Planeten warm zu halten. Das Netto-Feedback der Wolken kann sich also in beide Richtungen auswirken. Die Wolken sind einer der großen Unsicherheitsfaktoren, die es so schwierig machen, sich ein Bild vom Ausmaß der Erwärmung bei einem gegebenen Emissionsszenario zu machen.

◆ **Geschwindigkeit und zeitlicher Ablauf des Klimawandels hängen weitgehend von der Reaktion der Meere ab.** Die obersten Wasserschichten der Ozeane interagieren jedes Jahr mit der Atmosphäre und werden sich daher ebenso erwärmen wie die Erdoberfläche. Damit sich die Temperatur der obersten 100 Meter des Ozeans im selben Maße erhöht wie die Temperatur der gesamten Atmosphäre, wird allerdings das 40fache der Energie benötigt. Da die Meere eine Tiefe von mehreren Kilometern erreichen können, werden sie die Er-

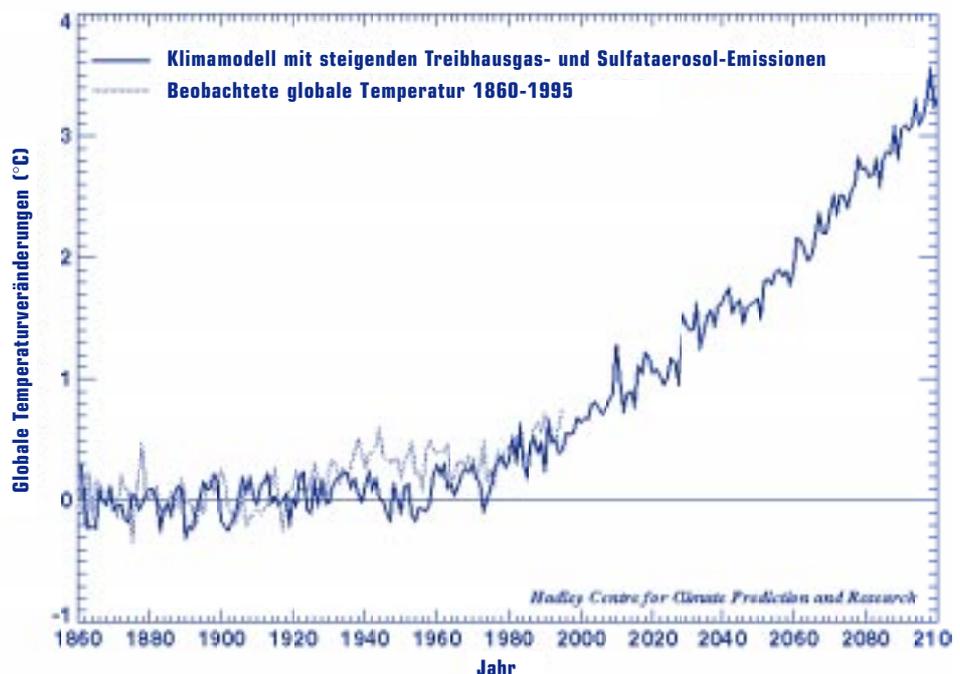


wärmung der Atmosphäre verlangsamen. Wie stark sie dies tun, hängt davon ab, wie tief die Erwärmung in die Wassermassen eindringt. Klimamodelle beginnen sich erst jetzt mit den Prozessen zu befassen, die den Energieaustausch zwischen der Atmosphäre und der Meerestiefe regeln, daher besteht auch in dieser Frage große Unsicherheit.

◆ **Klimaprognosen müssen mit einer stabilen und realistischen Simulation des heutigen Klimas beginnen. Dies ist aber sehr schwierig.** Am liebsten wäre es den Wissenschaftlern, wenn sie ihren Modellen die vorindustriellen Treibhausgaskonzentrationen zugrundelegen und dann die Treibhausgasemission steigern könnten, um zu sehen, was geschieht. Da notwendigerweise mit Näherungswerten gearbeitet werden muß, entfernt sich das Modell im allgemeinen nach und nach vom gegenwärtigen Klima, wobei die Abweichungen ebenso groß oder größer sind als die erwartete Erwärmung durch erhöhte Treibhausgaskonzentrationen. Es gibt verschiedene Methoden, um dieses „Abdriften“ vom Ist-Zustand zu korrigieren und ein stabiles Klimamodell als Ausgangspunkt für das Klimawandel-Experiment zu erhalten. Keine dieser Korrekturformeln ist jedoch wirklich zufriedenstellend, da sie Modellmängel verdecken, die für den Klimawandel von Bedeutung sein könnten. Mit der Verbesserung der Modelle sind jedoch auch weniger umfangreiche Korrekturen notwendig, und es besteht die Hoffnung, daß sich derartige Korrekturen in relativ naher Zukunft überhaupt erübrigen.

◆ **Die Fähigkeit der Wissenschaftler, Modellergebnisse zu verifizieren, wird oft durch unvollständiges Wissen über das tatsächliche Klima eingeschränkt.** Die Prozesse, die für den Klimawandel von Bedeutung sind, erstrecken sich über einen Zeithorizont von Jahrzehnten und mehr. Genaue Beobachtungen existieren zwar erst seit wenigen Jahrzehnten, doch kann die Wissenschaft versuchen, anhand indirekter Indizien Aufschluß über weiter zurückliegende Perioden zu erhalten. Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse zeigen, daß die Modellsimulationen früherer Witterungsverhältnisse und jährlicher natürlicher Klimaschwankungen schon verbessert wurden, obwohl sie noch immer mit erheblichen Mängeln behaftet sind.

◆ **Klimamodelle sind Werkzeuge der Wissenschaft und keine Kristallkugeln.** Umfangreiche Klimamodell-Experimente verlangen enorme Computer-Kapazitäten und sind so teuer, daß jedes Jahr weltweit nur einige Experimente dieser Art durchgeführt werden können. Dazu kommt, daß die Auswertung der Ergebnisse einer Computer-Simulation oft arbeitsintensiver ist als das Experiment selbst. Dieser riesige Aufwand verleitet dazu, die Modellergebnisse für Realität zu halten. Doch sind auch die besten Modelle nichts anderes als eine annähernde Darstellung eines äußerst komplizierten Systems; sie sind daher in keinem Fall ein verlässlicher Führer in die Zukunft. Gleichzeitig sollten aber die Unsicherheitsfaktoren in Klimamodellen nicht überbewertet werden. Sie sind nicht größer als die Unsicherheitsfaktoren von Wirtschaftsmodellen, auf deren Basis viele weitreichende Entscheidungen getroffen werden. Betrachten Sie also die Klimamodelle als ein hochentwickeltes Werkzeug zur Projektion unseres Wissens über das Klima der Gegenwart und Vergangenheit in eine unerforschte Zukunft hinein. Da der Klimawandel nur einmal stattfinden wird, sind sie das beste Werkzeug, das wir haben.



Veränderungen in der bodennahen globalen Durchschnittstemperatur von 1860 bis 2100 laut einem Klimamodell (schwarze Linie). Änderungen in den Treibhausgas- und Sulfataerosol-Emissionen werden auf Basis der bis 1990 beobachteten Veränderungen und nach einem Szenario (IS92a) fortgeschrieben, welches davon ausgeht, daß zwischen 1990 und 2100 nichts gegen den Klimawandel unternommen wird. Die graue Linie zeigt die seit 1860 beobachteten Veränderungen in der globalen Durchschnittstemperatur.

Quelle: Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Großbritannien)

Rückschlüsse aus früheren Klimaverhältnissen

◆ **Das Klima der Erde unterliegt einem natürlichen Wandel.** Jeder Bestandteil dieses komplexen Systems entwickelt sich innerhalb seines eigenen Zeithorizonts. Die Atmosphäre ändert sich innerhalb von Stunden, so daß es unmöglich ist, ihr genaues Verhalten über mehr als einige Tage hinweg vorauszusagen. Die oberen Meeresschichten brauchen dagegen Monate, um sich geänderten Verhältnissen anzupassen, und Veränderungen in der Meerestiefe können Jahrhunderte dauern. Tierisches und pflanzliches Leben der Biosphäre (das Niederschläge und Temperatur beeinflusst) ändert sich in der Regel innerhalb von Jahrzehnten. Änderungen in der Kryosphäre (Schnee und Eis) machen sich noch langsamer bemerkbar: In dicken Eisschichten dauern sie mehrere Jahrhunderte. Die Geosphäre (Landmasse) ändert sich am langsamsten – Gebirgsbildung und Kontinentalverschiebungen (mit ihren Auswirkungen auf Wind- und Meeresströmungen) dauern Jahrtausende.

◆ **Natürliche Klimaänderungen der Vergangenheit liefern wichtige Erkenntnisse über den vom Menschen ausgelösten Klimawandel.** Studien über frühere Klimaverhältnisse („Paläoklimatologie“) vermitteln einen Eindruck vom Maßstab der von den Klimamodellen vorausgesagten zukünftigen Veränderungen. Sie erlauben es den Wissenschaftlern, die wichtigsten Klimaprozesse besser zu verstehen und sie darzustellen.

◆ **Systematische Aufzeichnungen über die globale Temperatur existieren erst seit 1860.** Sie liefern unter anderem Daten über die Lufttemperatur an Land und über dem Meer. Diese Daten müssen sorgfältig auf mögliche Fehlerquellen überprüft werden, die sich aus Veränderungen in den Beobachtungsmethoden oder unterschiedlichen Beobachtungsorten ergeben können. Viele Wetterstationen befinden sich zum Beispiel in Städten oder in deren unmittelbarer Umgebung, und es ist bekannt, daß das Wachstum der Städte eine erhebliche Erwärmung des lokalen Klimas bedingen kann. Solche Effekte müssen bei der Beurteilung der jüngsten Veränderungen in der globalen Temperatur berücksichtigt werden, und die Klimatologen tun dies auch.

◆ **Untersuchungen über frühere Klimaverhältnisse beruhen auf indirekten Informationen.** Änderungen im Wasserstand der Seen lassen zum Beispiel Rückschlüsse auf das frühere Gleichgewicht zwischen Niederschlägen und Verdunstung zu. Die Jahresringe der Bäume, die Korallen, die Eiskappen oder die Meeressedimentation können alle Aufschluß über die Vergangenheit geben. Mit einer Kombination aus Messungen, Modellen und „Detektivarbeit“ ermitteln die Wissenschaftler aus meßbaren Größen (etwa der chemischen Zusammensetzung einer Eiskernprobe) diejenigen physikalischen Größen, die sie untersuchen möchten (etwa die Temperatur in der Antarktis vor 100 000 Jahren).

◆ **Das Erdklima wurde in den letzten Millionen Jahren durch Eiszeiten bestimmt.** Eiszeiten werden mit großer Wahrscheinlichkeit durch langsame Schwankungen der Erdachse und der Umlaufbahn der Erde um die Sonne ausgelöst. Diese Schwankungen haben einen Einfluß darauf, wieviel Sonnenenergie insgesamt auf die Erde trifft und insbesondere wie diese sich geographisch verteilt. In einer Eiszeit sinken die weltweiten Temperaturen um 5°C, und weite Teile Europas und Nordamerikas vereisen. Zwischen den Eiszeiten liegen wärmere, „interglaziale“ Perioden.

◆ **Veränderungen in den Treibhausgasemissionen könnten zur Verstärkung der Eiszeitzyklen beigetragen haben.** Die – durch das Schwanken der Erdachse verursachten – geringen Fluktuationen in der Sonnenintensität sind nicht stark genug, um die erheblichen Veränderungen der globalen Temperatur im Verlauf der Eiszeitzyklen zu erklären.



Eiskernproben zeigen, daß auch die Treibhausgaskonzentrationen merklichen Schwankungen unterworfen waren und wesentlich zu den Temperaturschwankungen beigetragen haben könnten.

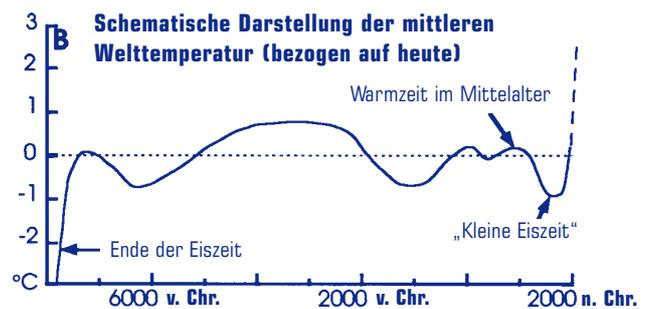
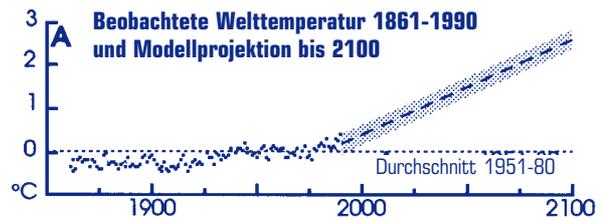
◆ **Die Rekonstruktion früherer Klimaverhältnisse dient als Kontrolle für Klimamodell-Projektionen.** Der Vergleich einer „Modellvorhersage“ über das Eiszeitklima mit aus der Paläoklimatologie gewonnenen Daten liefert wichtige Informationen über die Verlässlichkeit der modellhaften Darstellung von Prozessen, die für zukünftige Klimaänderungen maßgeblich sind. Doch auch paläoklimatologische Indizien sind nicht immer eindeutig: während einige Quellen darauf schließen lassen, daß die tropischen Meere am Höhepunkt der letzten Eiszeit um etwa 5°C kälter waren als heute, gehen andere von nur 1°C bis 2°C aus. Es kann also sehr schwierig sein, Modellfehler von ungesicherten Indizien zu unterscheiden.

◆ **Das Klima scheint seit dem Ende der letzten Eiszeit vor 10.000 Jahren beachtlich stabil zu sein.** Soweit Wissenschaftler überhaupt eine Aussage zu diesem Thema machen können, haben sich die weltweiten Temperaturen seit den Anfängen der menschlichen Zivilisation um weniger als ein Grad geändert. Verglichen mit den – allem Anschein nach – extremen und manchmal raschen Klimaschwankungen der vorangegangenen 100 000 Jahre ist dies eine relativ „friedliche“ interglaziale Periode.

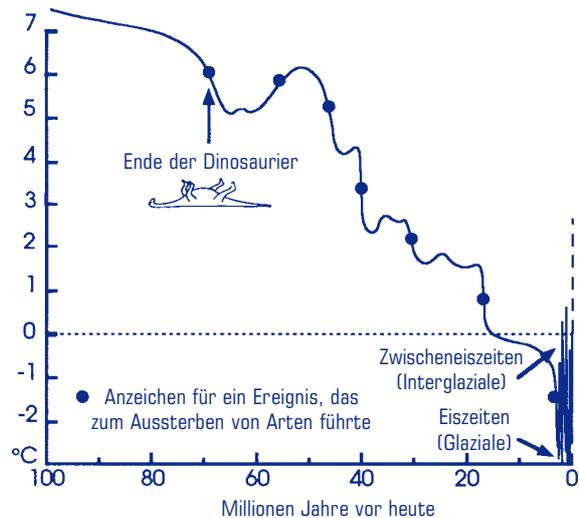
◆ **Modelle sagen voraus, daß es am Ende des 21. Jahrhunderts wärmer sein wird als in irgendeiner Zwischeneiszeit zuvor.** In einer Warmzeit zwischen zwei Eiszeiten vor etwa 125 000 Jahren scheint es in weiten Teilen Europas und Asiens um annähernd 2°C wärmer gewesen zu sein als heute. Modelle sagen jedoch voraus, daß die Temperaturen im 21. Jahrhundert in einem Großteil dieser Region um über 4°C ansteigen könnten, wenn die Treibhausgasemissionen wie angenommen weitergehen.

◆ **Plötzliche Klimaänderungen in grauer Vorzeit scheinen verheerende Folgen für das Leben auf der Erde gehabt zu haben.** In der biologischen Geschichte der Erde kam es wiederholt zu Vorgängen, in deren Verlauf ganze Arten dezimiert oder ausgelöscht wurden. Für das Aussterben von Arten gibt es viele mögliche Gründe, doch liegen Hinweise vor, die einen zeitlichen Zusammenhang solcher Ereignisse mit relativ abrupten Änderungen in den klimatischen Bedingungen – in der Größenordnung des nun für das 21. Jahrhundert vorausgesagten Klimawandels – nahelegen. In den kommenden 100 Jahren stehen uns vielleicht Klimaverhältnisse bevor, die es seit Beginn der Eiszeiten vor vielen Millionen Jahren nicht mehr gegeben hat

Quellen: **A.** Beobachtete Welttemperatur 1861-1990 und Modellprojektion bis 2100 **B.** Schematische Darstellung der mittleren Welttemperatur durch Auswertung von Eiskernproben, IPCC 1990 **C.** Schematische Darstellung der Welttemperatur, Schätzungen ausgehend von geologischen Daten, adaptiert nach T.J. Crowley und G.R. North, Science, Band 240, S. 996-1002, 1988, skaliert für die Welttemperatur nach T.J. Crowley in A. Berger et al. (Hrsg.) „Climate and the Geo-Sciences“, S. 179-207, Kluwer, 1989. Dinosaurier von David Catling



C Schematische Darstellung des Verlaufs der Welttemperatur vor 100 Millionen Jahren bis heute und Vorausschau auf 2100



Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

◆ **Auch eine sofortige und massive Reduzierung der weltweiten Treibhausgasemissionen könnte die Auswirkungen des Klimawandels nicht völlig verhindern.** Das Klimasystem reagiert, zum Teil aufgrund der thermischen Trägheit der Meere, verzögert auf die Treibhausgaskonzentrationen. Aufgrund früherer und gegenwärtiger Emissionen ist davon auszugehen, daß es im 21. Jahrhundert zumindest einen gewissen Klimawandel geben wird. Die natürlichen Ökosysteme und die menschliche Gesellschaft werden sowohl auf das Ausmaß als auch die Geschwindigkeit, mit der sich der Klimawandel vollzieht, mehr oder weniger empfindlich reagieren. Es genügt also nicht, Maßnahmen zur Emissionskontrolle zu treffen, es müssen auch Anstrengungen unternommen werden, um Schäden durch Anpassungsmaßnahmen möglichst gering zu halten.

◆ **Gefährdet sind vor allem diejenigen ökologischen und sozioökonomischen Systeme, die am empfindlichsten auf Klimaschwankungen reagieren und sich am wenigsten anpassen können.** Unter *Empfindlichkeit* versteht man das Maß, in dem ein System auf einen gegebenen Klimawandel reagiert; sie mißt zum Beispiel, wie stark die Zusammensetzung, Struktur und Funktionsweise eines Ökosystems auf einen gegebenen Temperaturanstieg reagiert. *Anpassungsfähigkeit* ist das Maß, in dem sich Systeme als Reaktion auf geänderte Bedingungen bzw. im Vorfeld solcher Änderungen auf diese einstellen können. Mit dem Begriff *Gefährdung* bezeichnet man das Ausmaß der möglichen Schädigung oder Beeinträchtigung eines Systems; sie wird nicht nur durch die Empfindlichkeit, sondern auch durch die Anpassungsfähigkeit eines Systems bestimmt.

◆ **Bereits belastete Ökosysteme sind besonders gefährdet.** Die meisten Ökosysteme reagieren empfindlich auf den gedankenlosen Umgang des Menschen mit der Umwelt und seinen steigenden Bedarf an Ressourcen. Aktivitäten des Menschen können beispielsweise wenig oder nicht bewirtschaftete zusammenhängende Ökosysteme aufbrechen, wodurch ihre natürliche Anpassungsfähigkeit an geänderte Klimabedingungen geschwächt wird. Durch diese Fragmentierung werden auch andere unterstützende Maßnahmen wie etwa die Schaffung von „Migrationskorridoren“ erschwert.

◆ **Sozioökonomische Systeme in Entwicklungsländern mit schwächerer wirtschaftlicher und institutioneller Basis sind stärker gefährdet.** Besonders gefährdet sind die Bewohner von ariden oder semiariden Gegenden, tiefliegenden Küstenstreifen, Überschwemmungsgebieten und kleinen Inseln. Die dichte Besiedlung einiger empfindlicher Zonen hat deren Anfälligkeit für Stürme, Überflutungen und Dürre noch verschärft.

◆ **Die Anpassung an Klimaänderungen kann spontan oder geplant erfolgen.** Oft paßt sich der einzelne Bürger, der Geschäftsmann, eine Regierung, ja die Natur selbst ohne Hilfe von außen an die Auswirkungen geänderter Klimabedingungen an. In vielen Fällen wird es jedoch der Planung bedürfen, um negative Auswirkungen zu begrenzen oder positive Auswirkungen optimal zu nutzen. Die Planung kann vor, während oder nach Eintritt der Folgen einsetzen.

◆ **Zur Anpassung an Klimaänderungen stehen sechs allgemeine Strategien zur Verfügung.** Es können vorsorgliche Maßnahmen getroffen werden, um *Verluste zu verhindern*, etwa durch die Errichtung von Schutzbauten gegen den ansteigenden Meeresspiegel. Oder man versucht, *Verluste* auf ein erträgliches Maß *zu reduzieren*, etwa durch die Wahl geeigneter Mischkulturen, die selbst unter ungünstigsten Bedingungen ein Minimum an Ertrag sicherstellen. Den durch Klimaänderungen direkt Betroffenen wäre geholfen, wenn



die **Verluste gemeinsam getragen** würden, etwa durch staatliche Katastrophenhilfe. Gemeinschaften können auch eine nicht mehr zweckentsprechende **Nutzung oder Aktivität ändern** oder **an einen anderen Ort verlagern**, indem zum Beispiel ein Wasserkraftwerk an einen Ort verlegt wird, an dem es mehr Wasser gibt. Manchmal besteht die beste Lösung in der **Standortverlegung**, etwa im Fall eines von Überflutung bedrohten historischen Denkmals.

◆ **Erfolgreiche Strategien sollten sich Ideen und Fortschritte in den Bereichen Recht, Finanzwesen, Wirtschaftswissenschaften, Technologie, Bildungswesen sowie Berufsbildung und Forschung zunutze machen.** Technische Fortschritte schaffen oft neue Möglichkeiten für Bewirtschaftungssysteme wie Landwirtschaft und Wasserversorgung. Viele Regionen der Welt haben derzeit jedoch nur beschränkt Zugang zu neuen Technologien und zu Informationen. Technologietransfer ist daher ebenso unverzichtbar wie die Bereitstellung finanzieller Mittel. Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Anpassung sind ferner Maßnahmen in den Bereichen Kultur, Bildung, Management, Institutionen sowie Gesetze und Verordnungen, und zwar auf nationaler wie internationaler Ebene. So kann etwa die Berücksichtigung klimarelevanter Überlegungen in Entwicklungsplänen dazu beitragen, daß neue Investitionen in die Infrastruktur den wahrscheinlichen zukünftigen Bedingungen bereits Rechnung tragen.

◆ **Viele politische Maßnahmen zur Anpassung sind auch ohne Klimaänderungen sinnvoll.** Schon heute kommt es zu Klimaschwankungen, auch zu extremen Klimaereignissen wie Dürre und Überschwemmungen, die enorme Schäden verursachen. Verstärkte Bemühungen zur besseren Vorbereitung auf solche Ereignisse würden kurzfristig zur Schadensbegrenzung beitragen, und zwar unabhängig davon, ob es längerfristig zu Klimaänderungen kommt oder nicht.

◆ **Die Ausarbeitung von Anpassungsstrategien wird durch Unsicherheitsfaktoren erschwert.** Es ist noch immer nicht möglich, die zukünftigen Auswirkungen auf ein bestimmtes System an einem bestimmten Ort vorauszusehen, da die Vorhersagen zum Klimawandel auf regionaler Ebene ungewiß, die derzeitigen Kenntnisse über natürliche und sozioökonomische Prozesse oft ungenügend und die meisten Systeme überdies vielen, einander beeinflussenden Belastungen ausgesetzt sind.

◆ **Es wird schwierig sein, die ersten Auswirkungen als solche zu erkennen, und unerwartete Änderungen sind nicht auszuschließen.** Klimabedingte Änderungen eindeutig als solche zu erkennen, wird im Fall der meisten ökologischen und sozioökonomischen Systeme in den kommenden Jahrzehnten äußerst schwierig sein. Der Wissensstand hat sich in den letzten Jahren zwar beträchtlich erhöht, doch bedarf es weiterer Forschung und Beobachtung, um mehr über die möglichen Folgen und die zu deren Bewältigung notwendigen Anpassungsstrategien zu erfahren.

Landwirtschaft und Sicherung der Nahrungsmittelversorgung

◆ **Der Klimawandel wird für einige landwirtschaftliche Gebiete bedrohlich, für andere möglicherweise günstig sein.** Die Auswirkungen auf die Ernteerträge und die Produktivität werden sehr unterschiedlich sein. Erhöhte Hitzebelastung, geänderte Monsunzeiten und trockenere Böden könnten die Erträge in den Tropen und Subtropen verringern, während verlängerte Wachstumsperioden im Norden Kanadas und in Europa die Erträge steigern könnten. Die Aussagekraft der Voraussagen im Hinblick auf regionale Klimaveränderungen und deren Auswirkungen auf die Landwirtschaft ist jedoch nach wie vor durch zahlreiche Unsicherheitsfaktoren äußerst fraglich (wie nachstehende Tabelle zeigt).

◆ **Klimazonen und landwirtschaftliche Nutzflächen werden sich wahrscheinlich polwärts verschieben.** Da die Durchschnittstemperaturen aller Voraussicht nach im Bereich des Nord- und Südpols stärker ansteigen werden als in Äquatornähe, wird die Verschiebung der Klimazonen in den höheren Breiten ausgeprägter sein. In Regionen mittlerer Breite (45° bis 60°) könnten sich die heutigen Temperaturzonen um 150 bis 550 Kilometer verschieben. Wenn man nun bedenkt, daß die gegenwärtigen breitenabhängigen Klimagürtel sich jeweils für ganz spezielle Kulturpflanzen eignen, könnten derartige Verschiebungen massive Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und die Viehzucht haben. Der Versuch, die jeweiligen Kulturen polwärts „mitwandern“ zu lassen, könnte daran scheitern, daß die Bodenarten in den neuen Klimazonen für intensive Landwirtschaft, wie sie heute in den wichtigsten produzierenden Ländern üblich ist, nicht geeignet sind.

◆ **Geänderte Niederschlagsmuster werden die Bodenfeuchtigkeit beeinträchtigen.** Unter Zugrundelegung einer globalen Erwärmung um 1°C bis 3,5°C in den nächsten 100 Jahren sagen Klimamodelle voraus, daß sich sowohl die Verdunstung als auch die Niederschlagsmengen erhöhen werden und es öfter als bisher zu heftigen Regenfällen kommen wird. Einige Regionen werden feuchter werden, in anderen wird der beschleunigte Wasserkreislauf insgesamt einen Verlust an Bodenfeuchtigkeit bewirken. In einigen Regionen, die schon heute dürranfällig sind, könnte es in Zukunft zu noch längeren und schlimmeren Dürreperioden kommen. Die Modelle prognostizieren außerdem saisonale Verschiebungen in den Niederschlagsmustern: die Bodenfeuchtigkeit wird in einigen kontinentalen Regionen mittlerer Breite im Sommer vermutlich abnehmen, während Regen- und Schneefälle in höheren Breiten im Winter zunehmen werden.

◆ **Höhere Temperaturen werden die Produktionsgewohnheiten beeinflussen.** Weniger Frost- und Kälteperioden werden Pflanzenwachstum und -gesundheit begünstigen; bestimmte Kulturpflanzen hingegen könnten durch höhere Temperaturen Schaden nehmen, vor allem in Verbindung mit Wassermangel. Gewisse Unkrautarten könnten auch in höheren Breiten heimisch werden. Es gibt außerdem einige Anhaltspunkte dafür, daß sich Insekten und Pflanzenkrankheiten ebenfalls in Richtung der Pole ausbreiten und zu weiteren Ernteeinbußen beitragen werden.

◆ **Ein höherer Kohlendioxidausstoß könnte die Produktivität steigern.** Grundsätzlich sollten höhere CO₂-Konzentrationen die Photosynthese bei gewissen Pflanzen anregen. Das gilt insbesondere für die sogenannten C3-Pflanzen, da erhöhte Kohlendioxid-Werte die Photorespiration unterdrücken und sie zu besseren Wasserverwertern machen. Die meisten Pflanzenarten der Welt – speziell an kühleren, feuchten Standorten – sind dieser Pflanzenkategorie zuzuordnen, vor allem Kulturpflanzen wie Weizen, Reis, Gerste, Maniok und Kartoffeln. Die Reaktion der C4-Pflanzen würde weniger dramatisch ausfallen. Zu den C4-Pflanzen zählen tropische Kulturpflanzen wie etwa Mais, Zuckerrohr, Hirse und Sorghum,



die alle für die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung vieler Entwicklungsländer von Bedeutung sind, sowie Weidegras und Futterpflanzen. Experimente, bei denen die CO₂-Konzentration verdoppelt wurde, haben bestätigt, daß die „CO₂-Düngung“ den durchschnittlichen Ertrag von C3-Pflanzen um 30 Prozent erhöhen kann. Dieser Effekt könnte durch begleitende Veränderungen in der Temperatur, den Niederschlägen, durch Schädlinge und je nach Verfügbarkeit von Nährstoffen gesteigert oder abgeschwächt werden.

◆ **Die Produktivität von Weideland wäre ebenfalls betroffen.** Zum Beispiel würden die Viehpreise steigen, wenn sich aufgrund von Störungen in der Landwirtschaft die Getreidepreise erhöhen. Generell ist davon auszugehen, daß sich die intensive Viehzucht leichter an Klimaänderungen anpassen wird als der Ackerbau. Das gilt allerdings nicht für die Weidewirtschaft, wo sich neue Methoden und Technologien im allgemeinen weniger schnell durchsetzen.

◆ **Der weltweite Ertrag der Meeresfischerei sollte von der globalen Erwärmung unberührt bleiben.** Die Auswirkungen werden größtenteils auf nationaler und lokaler Ebene spürbar sein, da die Fischereiwirtschaft auf Änderungen in der Artenzusammensetzung mit der Verlegung der Standorte reagieren wird. Diese möglichen lokalen Auswirkungen könnten allerdings die Sicherung der Versorgung mit Nahrungsmitteln in Ländern gefährden, die weitgehend vom Fischfang abhängig sind. Unter den positiven Folgen des Klimawandels in diesem Bereich sind verlängerte Aufzuchtperioden, geringere natürliche Wintersterblichkeit und rascheres Wachstum in höheren Breiten zu nennen. Negativ könnten sich hingegen Störungen in den bisherigen Laichgewohnheiten, den Wanderrouten und den Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Ökosystemen auswirken.

◆ **Die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung wäre hauptsächlich auf lokaler und nationaler Ebene gefährdet.** Untersuchungen lassen darauf schließen, daß die weltweite landwirtschaftliche Produktion gemessen am zu erwartenden Grundbedarf über die nächsten 100 Jahre hinweg aufrechterhalten werden kann. Regional würde es jedoch zu großen Unterschieden kommen, und einige Länder müssen, selbst wenn sie Anpassungsmaßnahmen vornehmen, möglicherweise mit einem Produktionsrückgang rechnen. Bei dieser Schlußfolgerung wurden die Vorteile der CO₂-Düngung berücksichtigt, nicht jedoch andere mögliche Auswirkungen des Klimawandels wie etwa Änderungen bei landwirtschaftlichen Schädlingen oder in der Bodenqualität.

◆ **Am meisten gefährdet sind die Landlosen, die Armen und Menschen, die geographisch oder wirtschaftlich isoliert sind.** Diese Menschen werden den Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft aufgrund schlechter Handelsbedingungen, schwacher Infrastruktur, der mangelnden Verfügbarkeit von Technologie und Information sowie kriegerischer Auseinandersetzungen nur wenig entgegenzusetzen haben. Die größte Gefahr droht den ärmsten Gebieten der Welt mit isolierten landwirtschaftlichen Systemen in ariden oder semiariden Regionen. Viele dieser Risikogruppen leben in Afrika südlich der Sahara, in Süd-, Ost- und Südostasien, in den Tropen Lateinamerikas und auf einigen Inseln im Pazifik.

◆ **Wirksame politische Maßnahmen können zur Sicherung der Nahrungsmittelversorgung beitragen.** Die negativen Auswirkungen des Klimawandels können durch Änderungen bei den Anbausorten, verbesserte Wasserbewirtschaftung und Bewässerungssysteme, eine bessere Bewirtschaftung von Wasserscheiden, besser geplante Landnutzung sowie durch eine entsprechende Anpassung der Anbauzeiten und Praktiken der Landbestellung begrenzt werden. Die politischen Maßnahmen sollten nicht nur den physiologischen Reaktionen von Pflanzen und Tieren Rechnung tragen, sondern auch danach trachten, Produktions- und Vertriebssysteme so zu verbessern, daß sie flexibler auf Ertragsschwankungen reagieren können.

Untersuchungen über den Klimawandel anhand ausgewählter Kulturpflanzen

Region	Auswirkungen auf den Ertrag (in%)	
	Mais	Weizen
Lateinamerika	-61 bis Steigerung	-50 bis -5
Ehemalige Sowjetunion	-	-19 bis +41
Europa	-30 bis Steigerung	Steigerung od. Rückgang
Nordamerika	-55 bis +62	-100 bis +234
Afrika	-65 bis +6	-
Südasien	-65 bis -10	-61 bis +67
Restliches Asien und Randgebiete des Pazifik	-	-41 bis +65

Anmerkung: Als Grundlage dienten „Double CO₂-Equivalent Equilibrium Scenarios“ globaler Klimamodelle.

Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change, „Summary for Policymakers: Scientific-Technical Analysis of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change“, S. 10, in „Climate Change 1995“, Band 2, Cambridge University Press

Meeresspiegel, Ozeane und Küstengebiete

◆ **Der globale mittlere Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren um 10 bis 25 Zentimeter angestiegen.** Dieser Anstieg ist wahrscheinlich größtenteils auf die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur in der unteren Atmosphäre um 0,3°C bis 0,6°C seit 1860 zurückzuführen.

◆ **Modelle gehen davon aus, daß der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 um weitere 15 bis 95 Zentimeter steigen wird (der wahrscheinlichste Wert, auch „beste Schätzung“ genannt, wird mit 50 Zentimeter beziffert).** Schuld daran sind die Wärmeausdehnung des Meerwassers und der Zufluß von Schmelzwasser aus Gletschern und Eis. Dieser voraussichtliche Anstieg wird zwei- bis fünfmal schneller vor sich gehen als der Anstieg des Meeresspiegels in den letzten 100 Jahren. Geschwindigkeit, Größenordnung und Art der Veränderung des Meeresspiegels werden örtlich und regional in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Küsten, Änderungen in den Meeresströmungen, Unterschieden in den Gezeiten und der Meeresspiegelsdichte sowie den vertikalen Bewegungen der Landmasse selbst variieren. Der Meeresspiegel dürfte noch über mehrere hundert Jahre weiter ansteigen, nachdem sich die Temperaturen der Atmosphäre stabilisiert haben.

◆ **Küstenzonen und kleine Inseln sind besonders gefährdet.** Die Küsten wurden in den letzten Jahrzehnten verändert und intensiv erschlossen, weshalb sie durch ein Ansteigen des Meeresspiegels besonders gefährdet sind. Am stärksten bedroht sind die Entwicklungsländer mit ihren schwachen Volkswirtschaften und ungenügend entwickelten Institutionen; es könnten jedoch auch tief gelegene Küstenstriche entwickelter Länder in Mitleidenschaft gezogen werden. Unter den gegebenen Bedingungen würde bei Ansteigen des Meeresspiegels um einen Meter Land im Ausmaß von 0,05 Prozent in Uruguay, 1 Prozent in Ägypten, 6 Prozent in den Niederlanden und 17,5 Prozent in Bangladesch verloren gehen. Das Majuro-Atoll auf den Marshall-Inseln würde bis zu 80 Prozent seiner Landmasse verlieren.

◆ **Überflutungen und Küstenerosion würden zunehmen.** Durch das Eindringen von Salzwasser werden sich Qualität und Quantität der Trinkwasservorräte verschlechtern. Ein höherer Meeresspiegel könnte außerdem dazu führen, daß extreme Ereignisse wie Hochwasser, Sturmfluten und Flutwellen infolge von Seebeben (Tsunamis) mehr Schaden anrichten. Schon heute sind jedes Jahr durchschnittlich rund 46 Millionen Menschen meist in Entwicklungsländern durch Sturmfluten in Mitleidenschaft gezogen. Untersuchungen lassen vermuten, daß sich diese Zahl bei einem Anstieg des Meeresspiegels um 50 Zentimeter auf 92 Millionen und bei einem Anstieg um einen Meter auf 118 Millionen erhöhen wird.

◆ **Das Ansteigen des Meeresspiegels könnte lebenswichtige Wirtschaftssektoren schädigen ...** In Küstengebieten werden viele Nahrungsmittel produziert. Besonders betroffen wären Fischerei, Fischzucht und Landwirtschaft. Hohes Risiko besteht ferner für den Fremdenverkehr, Siedlungsgebiete und Versicherungen (die bereits Verluste in Rekordhöhe aufgrund extremer Klimaereignisse zu verzeichnen haben). Der erwartete Anstieg des Meeresspiegels würde weltweit einen Großteil des Tieflands überfluten, Ackerland in Küstennähe zerstören und Millionen Menschen aus Küsten- und Inselgemeinden vertreiben.

◆ **... und die menschliche Gesundheit gefährden.** Die Menschen, die durch die Überflutungen ihre Siedlungsgebiete verlassen müßten, vor allem die Bedürftigen unter ihnen, wären einem erhöhten Gesundheitsrisiko durch Infektions- und andere Krankheiten und psychische Belastungen ausgesetzt. Insekten und andere Krankheitsüberträger könnten



sich in bisher nicht befallene Gebiete ausbreiten. Auch Schäden am Kanalisationssystem und den Regenwasserkanälen sowie die Unterbrechung der Abwasserbeseitigung können gesundheitliche Folgen haben.

◆ **Wertvolle Ökosysteme in Küstennähe sind ernsthaft gefährdet.** Küstengebiete beherbergen einige der vielfältigsten und produktivsten Ökosysteme der Welt, darunter Mangrovenwälder, Korallenriffe und Seegraswiesen. Tiefliegende Deltas sowie Korallenatolle und -riffe reagieren äußerst empfindlich auf Änderungen in der Häufigkeit und Heftigkeit von Regenfällen und Stürmen. Korallen wachsen zwar schnell genug, um mit dem Ansteigen des Meeresspiegels Schritt zu halten, sie könnten aber durch die höheren Wassertemperaturen geschädigt werden.

◆ **Auch marine Ökosysteme könnten betroffen sein.** Abgesehen vom höheren Meeresspiegel könnten Klimaänderungen die Eisdecke der Ozeane verringern, die Meeresströmungen ändern und die vertikale Vermischung der Meerwasserschichten und den Wellengang beeinflussen. Die Folge wäre eine Beeinträchtigung der biologischen Produktivität, der Verfügbarkeit von Nährstoffen sowie der ökologischen Struktur und der Funktion mariner Ökosysteme. Temperaturänderungen würden ferner geographische Verschiebungen in der Artenvielfalt bewirken, insbesondere in Regionen höherer Breiten, wo – bei gleichbleibenden Lichtverhältnissen und unverändertem Nährstoffangebot – eine Verlängerung der Wachstumsperiode zu erwarten wäre. Für den Menschen würde dies vor allem durch Änderungen des Fischbestands und anderer biotischer Ressourcen spürbar werden sowie – bis zu einem gewissen Grad – durch Auswirkungen auf die Schifffahrt (aufgrund veränderter Strömungen) und auf andere physikalische Ressourcen wie Erdöl und Kies. Schließlich könnte eine Änderung der Planktonaktivität die Fähigkeit der Ozeane beeinträchtigen, Kohlenstoff zu absorbieren und zu speichern. Dadurch würde sich ein „Rückkopplungseffekt“ auf das Klimasystem ergeben, der den Klimawandel sowohl verlangsamen als auch beschleunigen kann.

◆ **Verschiedene natürliche Kräfte werden die Auswirkungen des erhöhten Meeresspiegels beeinflussen.** Küstengebiete sind dynamische Systeme. Sedimentation, physikalische oder biotische Abwehrsysteme (wie Korallenriffe) und andere örtliche Gegebenheiten werden mit dem ansteigenden Meer in Wechselwirkung treten. Zum Beispiel werden die Süßwasservorräte in Küstenbereichen abhängig von Veränderungen im Süßwasserzufluß und der Größe des Vorkommens mehr oder weniger anfällig sein. Das Überleben von Salzsümpfen und Mangrovenwäldern wird zum Teil davon abhängen, ob die Sedimentation schneller oder langsamer vor sich geht als der örtliche Anstieg des Meeresspiegels. Im Gegensatz zu sedimentarmen Regionen wie der Karibik ist in sedimentreichen Regionen wie Australien mit einiger Sicherheit davon auszugehen, daß die Sedimentation rascher vor sich geht als der Anstieg des Meeresspiegels, da starke Gezeitenströme für eine rasche Verbringung der Sedimente sorgen.

◆ **Auch die Aktivitäten des Menschen werden eine Rolle spielen.** Die Errichtung von Straßen, Gebäuden und sonstiger Infrastruktur könnte die natürliche Reaktion von Ökosystemen in Küstenlage auf den Anstieg des Meeresspiegels beeinträchtigen. Umweltverschmutzung, Sedimentablagerungen und Landerschließung werden einen Einfluß darauf haben, wie die Küstengewässer auf die Auswirkungen des Klimawandels reagieren und sich diesen anpassen werden.

◆ **Grundsätzlich kann dem Anstieg des Meeresspiegels mit einer ganzen Reihe von Maßnahmen begegnet werden.** Auf dem Spiel stehen empfindliche ökologische, wirtschaftliche, soziale und kulturelle Werte, und ohne Kompromisse wird man wohl nicht auskommen. Bisher stand bei der Beurteilung möglicher Reaktionsstrategien stets der Schutzaspekt im Vordergrund; allerdings haben Studien ergeben, daß der Schutz tiefliegender Inseln und ausgedehnter Deltas durch Schutzdämme und -verbauungen wahrscheinlich sehr teuer ist. Ein umfassenderer Maßnahmenkatalog bestünde in der Kombination von Schutzmaßnahmen (Deiche, Wiederherstellung von Dünen, Schaffung von Feuchtgebieten), Anpassungsmaßnahmen (neue Bauordnungen, Schutz bedrohter Ökosysteme) und der Einplanung von Schongebieten (Maßnahmen gegen die weitere Erschließung von Küstengebieten). Andere Beispiele sind etwa das Ausbaggern von Häfen, eine bessere Fischereibewirtschaftung und verbesserte Konstruktionsnormen für Off-shore-Bauten. Ein „integriertes Management der Küstenzone“ bietet ein breites Spektrum von Möglichkeiten, einschließlich sozialer, kultureller, rechtlicher, struktureller, finanzieller, wirtschaftlicher und institutioneller Maßnahmen.

Artenvielfalt und Ökosysteme

◆ **Die Artenvielfalt – eine Ressource von unschätzbarem ökologischem, wirtschaftlichem und kulturellem Wert – wird durch rasche Klimaänderungen bedroht werden.** Eine Erwärmung um 1°C bis 3,5°C in den nächsten 100 Jahren würde die derzeitigen Klimazonen in den mittleren Breiten um annähernd 150 bis 550 Kilometer polwärts – und um 150 bis 550 Meter in der Vertikalen – verschieben. Die Zusammensetzung und geographische Verteilung unregulierter Ökosysteme werden sich mit der Anpassung der einzelnen Arten an die neuen Verhältnisse ändern. Gleichzeitig wird ihr Lebensraum durch das Zusammenwirken des Klimawandels, der Entwaldung und anderer Umweltbelastungen geschädigt und zerstückelt werden. Arten, die sich nicht schnell genug anpassen können, werden aussterben – ein unwiederbringlicher Verlust.

◆ **Wälder passen sich nur langsam an geänderte Bedingungen an.** Beobachtungen, Experimente und Modelle zeigen, daß ein steter Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um nur 1°C Auswirkungen auf die Funktionsweise und Zusammensetzung der Wälder hätte. Ein typisches Klimawandel-Szenario für das 21. Jahrhundert läßt massive Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung in einem Drittel des weltweiten Waldbestandes befürchten (je nach Region von einem Siebtel bis zu zwei Dritteln). Ganze Waldtypen könnten verschwinden, während sich neue Artenkombinationen und somit neue Ökosysteme bilden. Neue Schädlinge und Krankheitserreger sowie erhöhte Brandgefahr könnten die Wälder erwärmungsbedingt zusätzlich belasten. Da die Erwärmung in höheren Breiten vermutlich stärker ausfallen wird als in Äquatornähe, werden die Waldgürtel in den nördlichen Klimazonen stärker betroffen sein als die Wälder in gemäßigtem Klima und in den Tropen.

◆ **Wälder spielen eine bedeutende Rolle im Klimasystem.** Sie sind ein wichtiger Kohlenstoffspeicher, enthalten sie doch rund 80 Prozent des in der Landvegetation gespeicherten und rund 40 Prozent des im Boden vorhandenen Kohlenstoffs. Beim Umstellungsprozeß von einem Waldtyp auf einen anderen können große Mengen Kohlenstoff in die Atmosphäre entweichen, da beim Absterben mehr Kohlenstoff freigesetzt wird als beim Wachsen aufgenommen werden kann. Durch ihren Einfluß auf die Bodentemperatur, den Verdunstungskreislauf, die Oberflächenrauigkeit, die Albedo (Rückstrahlungsvermögen), die Wolkenbildung und die Niederschläge wirken sich Wälder außerdem auf lokaler, regionaler und kontinentaler Ebene direkt auf das Klima aus.

◆ **Wüsten sowie aride und semiaride Ökosysteme könnten noch unwirtlicher werden.** Von wenigen Ausnahmen abgesehen werden die Wüsten noch heißer, jedoch nicht wesentlich feuchter werden. Höhere Temperaturen könnten Organismen in ihrem Bestand bedrohen, die schon heute nahe an der Grenze ihrer Hitzeverträglichkeit leben.

◆ **Auf Weideland könnte es zu geänderten Vegetationszeiten kommen.** Grasland ernährt rund 50 Prozent der Viehherden auf der ganzen Welt und dient auch Wildtieren als Nahrungsquelle. Durch Änderungen von Temperatur und Niederschlägen wird es möglicherweise zu einer Verschiebung der Grenzen zwischen Grasland, Buschland, Wäldern und anderen Ökosystemen kommen. In den Tropen würden solche Veränderungen im Verdunstungs-/Niederschlagskreislauf die Produktivität und die Zusammensetzung des Artenbestandes erheblich beeinträchtigen.

◆ **Bergregionen sind schon heute durch die Aktivitäten des Menschen erheblich belastet.** Der erwartete Rückgang der Berggletscher, der Permafrost-Böden und der



Schneedecke werden die Bodenstabilität und die hydrologischen Systeme (die meisten wichtigen Flußsysteme nehmen ihren Ausgang in den Bergen) beeinträchtigen. Arten und Ökosysteme werden in höher gelegene Regionen wandern müssen; daher werden diejenigen, deren klimatische Verbreitung schon heute auf Gipfelregionen beschränkt ist, nicht auf andere Gebiete ausweichen können und aussterben. Betroffen sind ferner Landwirtschaft, Tourismus, Energieerzeugung durch Wasserkraft, Holzgewinnung und andere Wirtschaftszweige. Nahrungsmittel- und Brennstoffressourcen der einheimischen Bevölkerung könnten in vielen Entwicklungsländern gefährlich knapp werden.

◆ **Die Kryosphäre wird schrumpfen.** Die Kryosphäre umfaßt etwa 80 Prozent des gesamten Süßwassers und besteht aus allen mit Schnee und Eis bedeckten Flächen und Permafrost-Böden der Erde. Gefrorenes Wasser reagiert natürlich äußerst empfindlich auf Temperaturänderungen (ein Umstand, den sich die Forscher bei der Untersuchung früherer Klimaänderungen zunutze machen). Klimamodelle sagen voraus, daß die Berggletscher in den nächsten 100 Jahren um ein Drittel, ja bis zur Hälfte abschmelzen werden, was sowohl für die Ökosysteme und Siedlungsgebiete als auch für das jahreszeitlich bedingte Ansteigen von Flüssen und die Wasservorräte Konsequenzen haben wird – worunter wiederum die Energiewirtschaft und die Landwirtschaft zu leiden haben werden. Die Landschaft würde sich in vielen Hochgebirgszügen und in den Polarregionen dramatisch verändern. Das Abtauen der Permafrost-Böden könnte die Infrastruktur destabilisieren und zusätzliche Mengen Kohlenstoff und Methan freisetzen. Das Abschmelzen von Treibeis würde manche Flüsse und Küstengebiete länger als bisher schiffbar machen. Trotz dieser spektakulären Auswirkungen rechnet man in den nächsten 50 bis 100 Jahren nicht mit nennenswerten Veränderungen in der Eisdecke Grönlands und der Antarktis.

◆ **Auch zeitenunabhängige Feuchtgebiete werden dezimiert werden.** Diese ständig oder zeitweise von seichtem Wasser bedeckten Gebiete sind für viele Arten Lebensraum und Brutstätte. Sie tragen außerdem zur Verbesserung der Wasserqualität bei und wirken regulierend bei Überschwemmungen und in Trockenzeiten. Studien in mehreren Ländern haben ergeben, daß ein wärmeres Klima durch erhöhte Verdunstung zur Dezimierung der Feuchtgebiete beitragen wird. Durch die Veränderung ihrer hydrologischen Gegebenheiten wird der Klimawandel die biologische, biogeochemische und hydrologische Funktion dieser Ökosysteme sowie ihre geographische Verteilung beeinflussen.

◆ **Der Mensch ist in der Lage, natürliche Ökosysteme bei ihrer Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen.** Die Schaffung natürlicher „Migrationskorridore“ und Maßnahmen zur Erleichterung der Migration bestimmter Arten würde den Ökosystemen in Wäldern zugute kommen. Wiederaufforstung und die integrierte Brand-, Schädlings- und Krankheitsbekämpfung sind weitere Möglichkeiten. Natürliches Weideland könnte durch die gezielte Auslese von Pflanzenarten, die Steuerung des Viehbestandes und neue Weidestrategien geschützt werden. Feuchtgebiete können wiederhergestellt, wenn möglich sogar neu geschaffen werden. Verödete Landstriche könnten sich besser anpassen, wenn dürrebeständige Pflanzensorten heimisch gemacht und verbesserte Bodenschutzmethoden eingesetzt werden.

Wasservorräte

◆ **Eine Erwärmung des Klimas bringt mehr Niederschläge – erhöht aber auch die Verdunstung.** Ganz allgemein wird dieser beschleunigte Wasserkreislauf die Welt feuchter machen. Die Frage ist nur, wieviel von dieser Feuchtigkeit dorthin gelangt, wo sie benötigt wird.

◆ **Die Niederschlagsmenge wird sich in einigen Gebieten erhöhen, in anderen verringern.** Die Klimamodelle sind noch immer nicht in der Lage, genaue regionale Vorhersagen zu treffen. Außerdem ist der hydrologische Kreislauf äußerst komplex: Eine Änderung der Niederschläge kann die Feuchtigkeit, das Reflexionsvermögen und die Vegetation der Erdoberfläche beeinflussen – Faktoren, die sich ihrerseits auf die Verdunstung und Wolkenbildung auswirken und so wiederum die Niederschläge beeinflussen. Außerdem reagiert der Wasserkreislauf auch auf andere menschliche Aktivitäten wie etwa die Entwaldung, die Ausbreitung der Städte und die Überbeanspruchung der Wasserreserven.

◆ **Wieviel Wasser der Boden tatsächlich aufnehmen kann, hängt von den geänderten Niederschlagsmustern ab.** Mehrere Modelle sagen voraus, daß heftigere Regenfälle als bisher zu erwarten sind. Dadurch wird es zu mehr Überschwemmungen kommen, das Wasser wird ablaufen und nicht in den Boden eindringen können. Änderungen in den bisher üblichen saisonalen Niederschlägen könnten die regionale Verteilung der Wasserreserven auf und unter der Erdoberfläche verändern.

◆ **Je trockener das Klima ist, um so empfindlicher reagiert der Wasserhaushalt.** Relativ geringe Änderungen in der Temperatur und in den Niederschlägen könnten relativ starke Veränderungen im Wasserablauf bewirken. Aride und semiaride Regionen werden daher besonders empfindlich auf eine Verringerung der Regenfälle und eine erhöhte Verdunstung über den Boden (Evaporation) und die Pflanzen (Transpiration) reagieren.

◆ **Der Wasserablauf könnte in höheren Breiten aufgrund verstärkter Niederschläge ausgeprägter sein.** Wieviel Wasser abrinnt, kann auch durch eine Verringerung der Schneefälle und das Abschmelzen der Schneedecke und des Gletschereises beeinflusst werden, vor allem im Frühjahr und Sommer, wenn Wasser traditionell zur Energieerzeugung und in der Landwirtschaft gebraucht wird. Alle Klimawandel-Modelle prognostizieren für den hohen Norden eine erhöhte Bodenfeuchtigkeit im Winter, wobei diese in einigen Gebieten auch abnehmen kann. Weiterhin sagen die meisten Modelle für den Nordrand der mittleren Breiten eine verringerte Bodenfeuchtigkeit im Sommer voraus, etwa auch in einigen wichtigen Getreideanbaugebieten; diese Vorhersagen sind für Europa konsistenter als für Nordamerika.

◆ **Die Auswirkungen auf die Tropen sind schwerer vorherzusagen.** Die einzelnen Klimamodelle ergeben unterschiedliche Resultate, was die zukünftige Intensität der Regenfälle in den Tropen angeht.

◆ **Speicher und Brunnen wären betroffen.** Veränderungen an der Erdoberfläche würden die Auffüllung der Grundwasservorräte und längerfristig der wasserführenden Bodenschichten beeinflussen. Auch die Wasserqualität könnte auf veränderte Niederschlagsmengen und -zeiten reagieren.

◆ **Veränderte Wasserablauf- und Verdunstungsmuster haben auch Auswirkungen auf die natürlichen Ökosysteme.** Süßwasser-Ökosysteme werden auf Veränderungen in den Überflutungsmustern und im Wasserspiegel reagieren. Änderungen der Wassertemperatur



und der Wärmestruktur von Gewässern könnten Überleben und Wachstum bestimmter Organismen sowie die Vielfalt und Produktivität von Ökosystemen gefährden. Veränderungen des Wasserablaufs, der Grundwasserströmung und der Niederschläge direkt über Seen und Flüssen hätten Auswirkungen auf das Nährstoffangebot und den gelösten organischen Sauerstoff und damit auf die Güte und Reinheit des Wassers.

◆ **Durch das Ansteigen des Meeres könnte Salzwasser in küstennahe Süßwasserquellen eindringen.** Wasserführende Schichten in Küstengebieten könnten durch das Ansteigen des salzigen Grundwassers verunreinigt werden. Flußaufwärts gelegene Pumpwerke für Süßwasser wären betroffen, wenn Meerwasser in die Flußmündungen vordringt.

◆ **Eine Verringerung der Wasservorräte brächte zusätzliche Belastungen für die Menschen, die Landwirtschaft und die Umwelt.** Die regionale Wasserversorgung wird im 21. Jahrhundert – vor allem in den Entwicklungsländern – erheblichen Belastungen ausgesetzt sein. Der Klimawandel wird die durch Umweltverschmutzung, Bevölkerungswachstum und wirtschaftliche Expansion verursachten Belastungen weiter verschärfen. Die größte Gefahr besteht für aride und semiaride Gebiete, einige tiefliegende Küstenstreifen, Deltas und kleine Inseln.

◆ **Der zusätzliche Druck könnte Konflikte auslösen.** Die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel, dem verfügbaren Wasser, der Lebensmittelproduktion, dem Bevölkerungswachstum und dem Wirtschaftswachstum sind zahlreich und vielfältig. Der Klimawandel dürfte jedenfalls zu wirtschaftlichen und politischen Spannungen beitragen, ganz besonders in Regionen, deren Wasservorräte schon heute knapp sind. Eine Anzahl wichtiger Wassersysteme wird von zwei oder mehreren Ländern genutzt, und es ist diesbezüglich bereits zu internationalen Konflikten gekommen.

◆ **Eine bessere Wasserbewirtschaftung kann dazu beitragen, daß es zu keiner extremen Verknappung kommt.** Es müssen neue Vorkommen erschlossen und vorhandene Wasservorräte sparsamer genutzt werden. Langfristige Bewirtschaftungsstrategien sollten folgende Elemente beinhalten: Vorschriften und Technologien zur Überwachung der Boden- und Wassernutzung; Anreize und Abgaben, um das Verhalten der Menschen indirekt zu beeinflussen; die Errichtung neuer Speicher und Wasserleitungen zur Aufstockung der Vorräte; sowie Verbesserungen in der operativen Wasserbewirtschaftung und die Effizienzsteigerung der zuständigen Institutionen. Weitere mögliche Anpassungsmaßnahmen wären die Schaffung von Überschwemmungsgebieten durch die Beseitigung von Uferdämmen, der Schutz von Aulandschaften, der Rückbau regulierter Flußbetten und die Eindämmung der Wasserverschmutzung.

Die menschliche Gesundheit

◆ **Der Klimawandel wird wahrscheinlich weitreichende Konsequenzen für die Gesundheit der Menschen haben.** Die Gesundheit der Menschen ist abhängig von der ausreichenden Versorgung mit Nahrungsmitteln, sauberem Trinkwasser, einer sicheren Unterkunft, guten sozialen Beziehungen sowie von geeigneten sozialen und Umweltbedingungen zur Bekämpfung ansteckender Krankheiten. Alle diese Faktoren können vom Klima beeinflusst werden.

◆ **Jeder Anstieg der Häufigkeit oder Intensität extremer Wetterereignisse würde eine Gefahr bedeuten.** Hitzewellen, Überflutungen, Stürme und Dürren können zur Folge haben, daß Menschen sterben, verletzt werden oder Hunger leiden, Bevölkerungsgruppen ihre Heimat verlassen müssen und Krankheiten oder psychische Störungen auftreten. Während sich die Wissenschaftler nicht darüber einig sind, wie sich der Klimawandel auf die Häufigkeit von Stürmen auswirken wird, prognostizieren sie für bestimmte Regionen einen Anstieg von Überflutungen bzw. Dürrezeiten. Außerdem geht man davon aus, daß Überflutungen von Küstengebieten aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels zunehmen werden, wenn die bestehenden Schutzeinrichtungen nicht ausgebaut werden.

◆ **Hitzewellen werden in Zusammenhang gebracht mit Herz- und Gefäßkrankheiten, Erkrankungen der Atemwege sowie anderen Beschwerden.** Es ist damit zu rechnen, daß die so ausgelösten Krankheiten zunehmen und mehr Todesopfer fordern werden, insbesondere unter älteren Menschen. Ein häufigeres Auftreten von heißen und kalten Witterungsbedingungen sowie von Inversionswetterlagen (ein meteorologisches Phänomen, das den Abzug von Schmutzpartikeln verzögern kann) kann in vielen Städten zur Verschlechterung der Luftqualität führen. Auf der anderen Seite würden mildere Winter in gemäßigten Klimazonen wahrscheinlich in einigen Ländern eine Abnahme von kältebedingten Todesfällen mit sich bringen.

◆ **Durch die Reduzierung der Süßwasservorräte kann der Klimawandel die Wasserreserven und die sanitären Verhältnisse beeinflussen.** Dies wiederum kann dazu führen, daß weniger Wasser zum Genuß und zur Reinigung zur Verfügung steht. Eine solche Entwicklung könnte auch die Effizienz lokaler Abwasserbeseitigungssysteme beeinträchtigen und eine höhere Konzentration von Bakterien und anderen Mikroorganismen in unbehandeltem Wasser zur Folge haben. Wasserknappheit kann Menschen außerdem dazu zwingen, minderwertige Süßwasserquellen zu nutzen, beispielsweise Flüsse, die häufig verunreinigt sind. All diese Faktoren könnten ein vermehrtes Auftreten von Durchfallerkrankungen bewirken.

◆ **In anfälligen Regionen kann die Nahrungsmittelversorgung gefährdet sein.** Ein Rückgang der lokalen Nahrungsmittelproduktion würde mehr Unterernährung und Hunger mit sich bringen und langfristig negative Auswirkungen auf die Gesundheit vor allem von Kindern haben.

◆ **Die geographische Verteilung von krankheitsübertragenden Tierarten kann sich ändern.** In einer sich erwärmenden Welt könnten Moskitos, Zecken und Nagetiere ihren Lebensraum in höhere Breiten sowie höher gelegene Regionen ausweiten. Ungefähr 45 Prozent der Weltbevölkerung lebt derzeit in Gebieten, in denen Malaria übertragen werden kann. Modelle zur Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels legen nahe, daß sich das Potential für die Übertragung dieser Krankheit am meisten in den Randzonen – sowohl hinsichtlich des Breitengrades als auch der Höhenlage – der gegenwärtig malariagefährdeten Gebiete verändern wird. Im allgemeinen werden die Menschen in diesen Randgebieten keine Immunität gegen die Krankheit entwickelt haben. Darüber hinaus kann der Klimawandel auch die jahreszeitlich



bedingte Übertragung und Ausbreitung vieler anderer Krankheiten beeinflussen, die durch Moskitos (Denguefieber, Gelbfieber) oder Zecken (Lyme-Krankheit, Hantavirus-Lungensyndrom, Enzephalitis) übertragen werden.

◆ **Die Liste der anderen potentiellen Auswirkungen auf die Gesundheit ist lang.** Klimabedingte Veränderungen bei der Entstehung und Wirkungsdauer von Pollen, Sporen und gewissen Schadstoffen könnten Asthma, allergische Störungen sowie Herz- und Atemwegserkrankungen auslösen. Außerdem ist es möglich, daß Veränderungen in Art und Menge von Krankheitserregern und Biotoxinen im Wasser Meeresfrüchte ungenießbar werden lassen.

◆ **Die Menschen werden sich anpassen bzw. Gegenmaßnahmen ergreifen müssen, um diese größeren Gesundheitsrisiken zu minimieren.** Viele wirksame Maßnahmen stehen zur Verfügung. Die wichtigste, dringlichste und kostengünstigste besteht darin, das öffentliche Gesundheitswesen in Ländern auszubauen, in denen es in den vergangenen Jahren vernachlässigt worden ist. Viele Krankheiten und gesundheitliche Probleme, die durch den Klimawandel verschlimmert werden könnten, lassen sich durch angemessene finanzielle und personelle Ressourcen wirksam verhindern. Anpassungsstrategien können folgende Maßnahmen beinhalten: die Kontrolle ansteckender Krankheiten, Hygieneprogramme, Katastrophenvorsorge, verbesserte Wasser- und Schadstoffkontrolle, öffentliche Aufklärungsmaßnahmen zur Beeinflussung individueller Verhaltensmuster, die Ausbildung von Forschern und Gesundheitsexperten und die Einführung präventiver Technologien (etwa im Hinblick auf die Verbesserung der Wohnbedingungen, die Klimatisierung von Innenräumen, die Wasserreinigung und die Impfung der Menschen).

◆ **Die potentiellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit sind aufgrund zahlreicher Unsicherheitsfaktoren schwer abzuschätzen.** Die Forscher müssen nicht nur zukünftige Szenarios über den Klimawandel berücksichtigen, sondern auch viele andere Einflußfaktoren. Beispielsweise können Entwicklungen in den sozioökonomischen Bedingungen die Anfälligkeit der Menschen erheblich beeinflussen. In jedem Fall werden ärmere Gemeinschaften anfälliger sein für die Auswirkungen des Klimawandels als reiche.

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit



Quelle: Übernommen aus „Weather, Climate and Health“ (WMO, no. 892, 1999)

Infrastruktur, Industrie und Siedlungsgebiete

◆ **Der Klimawandel wird negative Auswirkungen auf das Sachvermögen der Menschheit haben.** Zu den wertvollsten Infrastrukturgütern zählen Industrieanlagen und -produkte, Einrichtungen zur Erzeugung und Verteilung von Energie, Straßen, Häfen und andere Verkehrseinrichtungen, Wohnungs- und Geschäftseigentum sowie Uferbefestigungen an den Küsten. Der Klimawandel kann erhebliche Folgen für die Infrastruktur haben; sie werden jedoch weniger schwerwiegend sein als die Auswirkungen von demographischen, technologischen und Marktveränderungen, da es viele Möglichkeiten zur Anpassung gibt.

◆ **Es wird mit Schäden an der Industrie-, Energie- und Verkehrsinfrastruktur zu rechnen sein.** Veränderungen der Temperatur und der Niederschläge können ebenso wie extreme Wetterereignisse exponierte Infrastruktur zerstören oder deren Leistungsfähigkeit einschränken. Zu den extremen Ereignissen, die in einigen Regionen häufiger oder verstärkt eintreten können, zählen Sturmfluten, Überschwemmungen und Erdbeben infolge heftiger Regenfälle, Stürme, beschleunigte Schneeschmelze, tropische Wirbelstürme und Orkane sowie durch Dürren ausgelöste Wald- und Buschbrände.

◆ **Einige Wirtschaftszweige sind besonders gefährdet.** Im Gegensatz zur Landwirtschaft und zu natürlichen Ökosystemen sind die Bereiche Industrie, Energie und Verkehr mehr oder weniger „wetterfest“. Anfällig für Überraschungen, plötzliche Änderungen und Extremereignisse sind am ehesten die Agrarindustrie, die Erzeugung von Energie aus Wasserkraft, Biomasse und anderen Formen erneuerbarer Energie, die Energienutzung, das Bauwesen, einige Verkehrsbereiche sowie infrastrukturelle Einrichtungen in Küstengebieten, auf Dauerfrostböden (Permafrost) oder in anderen exponierten Zonen.

◆ **Das Ansteigen des Meeresspiegels könnte die schwerwiegendsten und direktesten Auswirkungen haben.** Viele Küstenstreifen sind hoch entwickelt und Standort von Siedlungen, Industrie, Häfen und anderer Infrastruktur. Am anfälligsten sind einige kleine Inselstaaten, Entwicklungsländer sowie dicht besiedelte Küsten, die heute noch nicht ausreichend durch Schutzbauten gesichert sind. Der Anstieg des Meeresspiegels, Sturmfluten und Überschwemmungen könnten die Bevölkerung zwingen, ihre Wohngebiete zu verlassen, was wiederum Konsequenzen für weiter im Landesinneren gelegene infrastrukturelle Einrichtungen hat.

◆ **Besonders betroffen von extremen Klimaereignissen ist der Sachversicherungssektor.** Das erhöhte Risiko extremer Witterungsereignisse infolge des Klimawandels könnte zu einer Erhöhung der Versicherungsprämien oder zur Aufhebung des Versicherungsschutzes in einigen Risikogebieten führen. Änderungen in der Klimavariabilität und das Risiko extremer Ereignisse sind schwer abzuschätzen und vorauszusagen, weshalb es für die Versicherungsgesellschaften schwierig sein wird, die Prämien entsprechend anzupassen. Wenn Gesellschaften deswegen in Konkurs gehen, werden sie ihrer Leistungsverpflichtung möglicherweise nicht mehr nachkommen können. Dadurch könnten wiederum andere Wirtschaftssektoren wie etwa das Bankwesen geschwächt werden.

◆ **Die Industrie wird indirekt in Mitleidenschaft gezogen werden . . .** Die verschiedenen Wirtschaftszweige sind so eng miteinander verknüpft, daß Schwierigkeiten in einem Sektor die gesamte Wirtschaft beeinträchtigen können. Aufgrund dieses Domino-Effektes können Industrie, Energiewirtschaft und Verkehrswesen durch Änderungen in klimasensitiven, für die Versorgung wichtigen Sektoren wie der Agrarindustrie und Biomasseproduktion stark in Mitleidenschaft gezogen werden. Auch klimasensitive Märkte werden Signale aussenden,



etwa in Form einer geänderten Energienachfrage für die Beheizung oder Kühlung von Gebäuden. Letzten Endes werden sich viele einzelne Auswirkungen summieren.

◆ **. . . und auch Siedlungsgebiete werden indirekt betroffen sein.** So kann zum Beispiel ein Rückgang in der Ergiebigkeit der natürlichen Ressourcen in ländlichen Gebieten die Landflucht begünstigen, vor allem in der Dritten Welt. Die durch Mißernten, regionale Überschwemmungen oder Dürre ausgelösten Wanderungsbewegungen in die Städte bedeuten eine weitere Belastung für das Wohnungswesen und die Versorgung mit Wasser, Lebensmitteln und medizinischer Betreuung.

◆ **Am stärksten werden diejenigen Siedlungsgebiete betroffen sein, die schon heute unter den Auswirkungen von Bevölkerungswachstum, Armut, Industrialisierung und Umweltzerstörung leiden.** Ein erhebliches Risiko besteht auch für große Küstenstädte, Slums in Überschwemmungsgebieten und auf steilen Abhängen, Siedlungen in bewaldeten Gegenden mit jahreszeitlich auftretenden Waldbränden sowie für Gemeinschaften, die ihren Lebensunterhalt als Selbstversorger durch Ackerbau oder kommerzielle Fischerei bestreiten. In jedem Fall werden es die Ärmsten sein, die am meisten zu leiden haben.

◆ **Die vom Menschen geschaffene Infrastruktur kann durch überlegte politische Maßnahmen und Managementstrategien geschützt werden.** Die Planungs- und Investitionszyklen im Infrastrukturbereich sind oft kurz genug, um Manager in die Lage zu versetzen, sich auf zukünftige Klimaänderungen einzustellen. Dies könnten sie tun, indem sie das Kapital im normalen Rhythmus erneuern, jedoch geeignetere Konstruktionen und Standorte wählen. Es ist allerdings nicht zu erwarten, daß Menschen und Organisationen von selbst zu derartigen Anpassungsstrategien greifen. Gegebenenfalls müssen daher die Regierungen durch geeignete politische Konzepte und durch die Vorgabe von Rahmenbedingungen den Anstoß zu entsprechendem privatwirtschaftlichem Handeln geben. Möglicherweise sind zum Schutz besonders gefährdeter Infrastruktursegmente auch direkte Maßnahmen des Staates nötig. Die Botschaft ist also klar: Zukünftige Risiken können begrenzt werden, wenn der Klimawandel in allen Bereichen der heutigen Planung berücksichtigt wird.

◆ **Die Diversifizierung der Wirtschaft kann zusätzlichen Schutz bieten.** Entwicklungsländer, deren Wirtschaft von einigen wenigen Kulturpflanzen oder anderen Ressourcen abhängig ist, haben dem Klimawandel nicht viel entgegenzusetzen. Eine Diversifizierung der Wirtschaft, verbunden mit verbesserten Managementpraktiken wie dem „integrierten Küstenmanagement“, kann sich als wichtige Vorsichtsmaßnahme erweisen. Diese Strategien stoßen aber oft auf erhebliche Hindernisse. Schwierigkeiten können sich ergeben durch den Mangel an fortschrittlichen Technologien, Humankapital und Finanzen sowie durch kulturelle und soziale Zwänge oder Hindernisse politischer und rechtlicher Natur. Besonders akut ist der Mangel an finanziellen und menschlichen Ressourcen in den Entwicklungsländern.

Klimakatastrophen und extreme Wetterereignisse

◆ **Das Klima weist natürliche Schwankungen auf, gleichgültig, welchen Zeithorizont man betrachtet.** Diese Schwankungen können durch äußere Einflüsse wie Vulkanausbrüche oder Änderungen in der Energieabstrahlung der Sonne verursacht werden. Sie können aber auch durch das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten des Klimasystems entstehen – der Atmosphäre, der Ozeane, der Biosphäre, der Eisflächen und der Landmasse. Diese internen Wechselwirkungen können zu mehr oder weniger regelmäßigen Fluktuationen, etwa dem Phänomen El Niño/Südliche Oszillation (ENSO), oder zu scheinbar zufälligen Klimaänderungen führen.

◆ **Die natürliche Variabilität des Klimas verursacht oft Klimaextreme und -katastrophen.** Über einen Zeithorizont von Tagen, Monaten und Jahren kann die Klimavariabilität Hitzewellen, Frost, Hochwasser, heftige Stürme und andere extreme Wettererscheinungen verursachen. Als Klimaextrem bezeichnet man dabei – unabhängig von seinen Auswirkungen auf Lebewesen oder die Ökologie der Erde – ein signifikantes Abweichen vom Normalzustand des Klimasystems. Wenn ein Klimaextrem das Wohlergehen des Menschen massiv beeinträchtigt, spricht man von einer Klimakatastrophe. Klimakatastrophen treten in manchen Teilen der Welt so häufig auf, daß sie als im Bereich des Normalen liegend anzusehen sind. Der durch Treibhausgase verursachte Klimawandel wird möglicherweise die Häufigkeit, die Größenordnung und die Ausprägung sowohl von Klimaextremen als auch von Klimakatastrophen verändern.

◆ **Von Zeit zu Zeit treten in jeder Region der Welt Rekordklimaextreme auf.** So kam es zum Beispiel 1995 zu sommerlichen Hitzewellen im amerikanischen Mittelwesten und auf dem indischen Subkontinent. In den Vereinigten Staaten starben 700 Menschen an Hitzestreß; 500 Menschen kamen in Nordindien ums Leben, als Temperaturen im Juni auf 50°C stiegen. Zu Beginn desselben Jahres mußten in den Niederlanden 200 000 Menschen und fast eine halbe Million Nutztiere evakuiert werden, als die Flüsse über die Ufer traten. Es war dies die schwerste Überschwemmung seit 1953, dem Jahr, in dem die niederländischen Deiche brachen. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts kulminierte eine Periode zunehmender Trockenheit im Mittelwesten Nordamerikas während der 30er Jahre in der sogenannten „Dust Bowl“, einer Phase extremer Sandstürme und Dürre, in deren Folge sich die Lage wieder normalisierte. Ein Beispiel aus jüngerer Zeit sind die jährlichen Niederschläge in der nordafrikanischen Sahelzone. Diese lagen seit 1970 insgesamt neun mal über 20 Prozent unter dem Durchschnitt der ersten 70 Jahre des Jahrhunderts; bis 1970 war nur ein Extrem dieser Größenordnung zu verzeichnen gewesen.

◆ **Ist aus den häufigen Berichten über Rekordereignisse unserer Zeit zu schließen, daß Klimaextreme immer mehr zur Norm werden?** Nach Ansicht der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe über Klimaänderungen „reichen die vorliegenden Daten nicht aus, um festzustellen, ob im 20. Jahrhundert nachhaltige Änderungen in der Klimavariabilität oder bei Wetterextremen stattgefunden haben“. Regional sind gewisse Trends erkennbar, doch „waren einige dieser Änderungen auf eine größere, andere auf eine geringere Variabilität zurückzuführen“. Es kann auch einfach sein, daß Extremereignisse uns deshalb so bewußt werden, weil durch die revolutionären Entwicklungen im Kommunikationswesen Nachrichten und Informationen einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich sind als je zuvor.

◆ **Der Mensch bietet immer mehr Angriffsflächen, die Extremereignisse zu Klimakatastrophen werden lassen.** Menschen in vielen Teilen der Welt sind gezwungen, in exponierteren Randzonen zu leben. Andernorts werden in extrem risikoreichen Zonen hochwertige



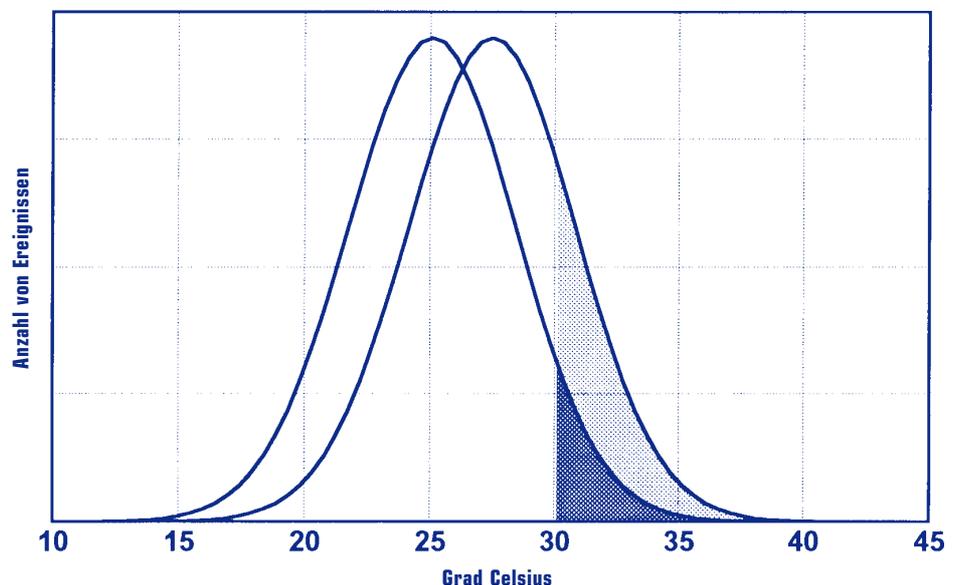
Wohnanlagen errichtet. Diese Entwicklung fand ihren Niederschlag in den schweren Einbußen, die die Versicherungswirtschaft seit 1987 aufgrund einer Serie von „Milliarden-Dollar-Stürmen“ hinnehmen mußte.

◆ **Der globale Klimawandel könnte in Zukunft die Häufigkeit, die Größenordnung und den Ort von Extremereignissen spürbar beeinflussen.** Jede Verschiebung im mittleren Klima wird fast unweigerlich die Häufigkeit von Extremereignissen beeinflussen (*siehe Abbildung*). Allgemein sind mehr Hitzewellen und weniger Frostperioden zu erwarten, während heftigere Regenfälle in einigen Regionen zu mehr Überschwemmungen führen können. Extremereignisse dauern jedoch immer nur kurze Zeit und treten örtlich begrenzt auf, weshalb es für die Wissenschaftler schwierig ist, Aussagen darüber zu machen, wie diese Ereignisse auf einen Klimawandel reagieren könnten. In den Tropen soll allein eine Erwärmung der Meere die Häufigkeit und vielleicht auch die Intensität der Wirbelstürme erhöhen. Dieser Effekt könnte auf lokaler Ebene durch andere Faktoren wie sich ändernde Winde und Sturmverläufe ausgeglichen werden. Jedenfalls besteht angesichts der wachsenden Hilflosigkeit des Menschen gegenüber Klimaextremen, verbunden mit den Unsicherheitsfaktoren in bezug auf den Klimawandel, Anlaß zur Sorge.

◆ **Extreme Klimaereignisse treten zwar stets plötzlich und unerwartet auf, doch können die damit verbundenen Risiken begrenzt werden.** In vielen Teilen der Welt muß ungeachtet eines drohenden Klimawandels dringend etwas geschehen, um besser gegen solche Ereignisse gerüstet zu sein. Bessere Information, stärkere Institutionen und neue Technologien können menschliche Opfer und Sachschäden in Grenzen halten. Zum Beispiel können neue Bauten entsprechend geplant und an Orten errichtet werden, wo weniger Schäden durch Überschwemmungen und tropische Wirbelstürme zu erwarten sind, während hochentwickelte Bewässerungsmethoden Landwirte und ihre Anbauflächen vor Dürre schützen können.

◆ **Die Wissenschaftler können derzeit nicht sagen, daß die Extremereignisse unserer Zeit durch den Klimawandel bedingt sind.** Sie wissen einfach noch nicht genug über das Klimasystem und die Auswirkungen der Treibhausgasemissionen, um feststellen zu können, ob einzelne Ereignisse mit dem allgemeinen Problem in Zusammenhang stehen. (Es ist jedoch möglich, daß sie in zukünftigen Jahrzehnten rückblickend erkennen, daß bestimmte Ereignisse tatsächlich mit dem Klimawandel zu tun hatten.) Es ist daher von größter Wichtigkeit, daß wir die Beobachtung und Erforschung von Extremereignissen fortsetzen und lernen, sie vorherzusagen und zu beherrschen. Von allen Auswirkungen, die die Klimavariabilität in den kommenden Jahrzehnten mit sich bringt, werden voraussichtlich die Extremereignisse das Wohl des Menschen am stärksten beeinflussen.

Die Häufigkeitsverteilung der Monatstemperaturen vor und nach einer Veränderung im mittleren Klima. In diesem hypothetischen Beispiel steigen die Temperaturen im Vergleich zum derzeitigen, mit 25°C angenommenen Mittel um 2,5°C. Ohne weitere Veränderung des Charakters des lokalen Klimas verdoppelt sich die Häufigkeit von Fällen, in denen die Temperatur 30°C übersteigt. Der dunkel unterlegte Bereich entspricht der Wahrscheinlichkeit von Temperaturen über 30°C heute, der hell unterlegte Bereich den Auswirkungen einer um 2,5°C erhöhten Durchschnittstemperatur. Die Häufigkeit niedriger Temperaturextreme nimmt entsprechend ab. Quelle: Climatic Research Unit, University of East Anglia



Die internationale Reaktion auf den Klimawandel: Ein geschichtlicher Rückblick

◆ **Auf der Ersten Weltklimakonferenz 1979 setzte sich die Erkenntnis durch, daß es sich beim Klimawandel um ein ernstzunehmendes Problem handelt.** Auf diesem wissenschaftlichen Treffen wurde erörtert, was der Klimawandel für die Aktivitäten des Menschen bedeuten kann. Es gipfelte in einer Erklärung, in der die Regierungen der Welt aufgefordert werden, „sich auf potentielle, vom Menschen verursachte Änderungen im Klima, die sich nachteilig auf das Wohl der Menschheit auswirken könnten, einzustellen und sie zu verhindern“. Auf der Konferenz wurde außerdem der Plan befürwortet, ein Weltklimaprogramm (WCP) unter der gemeinsamen Verantwortung der Weltorganisation für Meteorologie (WMO), des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) und des Internationalen Rates wissenschaftlicher Vereinigungen (ICSU) zu erstellen.

◆ **Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre kam es zu einer Reihe zwischenstaatlicher Konferenzen über den Klimawandel.** Gestützt auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse trugen diese Konferenzen zur Sensibilisierung der weltweiten Öffentlichkeit für diese Frage bei. Der Teilnehmerkreis umfaßte staatliche Entscheidungsträger, Wissenschaftler und Umweltschützer. Es wurden sowohl wissenschaftliche als auch politische Aspekte des Problems erörtert, und es wurde zu weltweitem Handeln aufgerufen. Die wichtigsten Treffen waren die Konferenz von Villach (Oktober 1985), die Konferenz von Toronto (Juni 1988), die Konferenz von Ottawa (Februar 1989), die Konferenz von Tata (Februar 1989), die Konferenz und Erklärung von Den Haag (März 1989), die Ministerkonferenz von Noordwijk (November 1989), die „Cairo Compact“ (Dezember 1989), die Konferenz von Bergen (Mai 1990) und die Zweite Weltklimakonferenz (1990).

◆ **1990 erschien der Erste Sachstandsbericht der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe über Klimaänderungen (IPCC).** Der Auftrag an den 1988 von UNEP und der WMO gegründeten IPCC lautete, eine Bestandsaufnahme des vorhandenen Wissens über das Klimasystem und den Klimawandel vorzunehmen, die Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft zu prüfen und mögliche gegensteuernde Strategien auszuarbeiten. Der von Experten und Regierungsbeamten sorgfältig überprüfte Erste Sachstandsbericht bestätigte die wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Klimawandel. Er hatte eine nachhaltige Wirkung sowohl auf politische Entscheidungsträger als auch auf die Weltöffentlichkeit und diente als Verhandlungsgrundlage für die Klimakonvention.

◆ **Im Dezember 1990 gab die Generalversammlung der Vereinten Nationen den Startschuß für die Vertragsverhandlungen.** Der Zwischenstaatliche Verhandlungsausschuß für ein Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen (INC/FCCC) trat zwischen Februar 1991 und Mai 1992 fünfmal zusammen. Die Zeit drängte – das Übereinkommen sollte bis zum „Umweltgipfel“ im Juni 1992 in Rio vorliegen –, und die Unterhändler aus 150 Ländern brachten das Übereinkommen in nur 15 Monaten zustande. Es wurde am 9. Mai 1992 in New York angenommen.

◆ **Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (die „Klimakonvention“) von 1992 wurde in Rio de Janeiro von 154 Staaten und der Europäischen Gemeinschaft unterzeichnet.** Zwanzig Jahre, nachdem mit der Erklärung von Stockholm aus dem Jahr 1972 die Grundlage für eine zeitgemäße Umweltpolitik gelegt worden war, erlebte die Welt die bisher größte Zusammenkunft von Staatschefs. In Rio wurden außerdem die Erklärung von Rio, die Agenda 21, das Übereinkommen über die Artenvielfalt und die Waldprinzipien verabschiedet.



- ◆ **Die Klimakonvention trat am 21. März 1994 in Kraft.** Dies geschah 90 Tage nach Hinterlegung der 50. Ratifikationsurkunde (da ein Staat nach Unterzeichnung eines Übereinkommens dieses auch ratifizieren muß). Der nächste kritische Termin war der 21. September: Ab diesem Tag begannen die der Klimakonvention beigetretenen Industriestaaten nationale Mitteilungen über ihre Strategien im Zusammenhang mit dem Klimawandel vorzulegen. Der INC setzte inzwischen seine Vorbereitungsarbeiten fort und trat zu weiteren sechs Tagungen zusammen, auf denen Fragen im Zusammenhang mit Verpflichtungen, dem Finanzierungsmechanismus und der technischen und finanziellen Unterstützung für Entwicklungsländer sowie Verfahrens- und institutionelle Angelegenheiten besprochen wurden. Der INC wurde nach seiner elften und letzten Tagung im Februar 1995 aufgelöst, und die Konferenz der Vertragsparteien (COP) wurde zum obersten Gremium der Konvention.

- ◆ **Die Konferenz der Vertragsparteien trat erstmals vom 28. März bis 7. April 1995 in Berlin zusammen.** An der COP-1 nahmen Delegierte aus 117 Vertragsstaaten und 53 Beobachterstaaten sowie mehr als 2000 Beobachter und Journalisten teil. Sie stellten übereinstimmend fest, daß die in der Klimakonvention vorgesehenen Verpflichtungen der entwickelten Länder unzureichend seien, und begannen die im „Berliner Mandat“ vorgesehenen Gespräche über weitere Verpflichtungen. Sie überprüften auch die erste Runde der nationalen Mitteilungen und legten wesentliche Bestandteile des institutionellen und finanziellen Apparats fest, der zur Unterstützung der in der Klimakonvention vereinbarten Maßnahmen in den nächsten Jahren erforderlich sein würde. Die COP-2 fand vom 8. bis 19. Juni 1996 im Palais des Nations in Genf statt.

- ◆ **Im Dezember 1995 verabschiedete der IPCC seinen Zweiten Sachstandsbericht.** Der rechtzeitig zur COP-2 veröffentlichte Zweite Sachstandsbericht war von rund 2000 Wissenschaftlern und Experten aus aller Welt verfaßt und überprüft worden. Seine Schlußfolgerung, daß die „Abwägung der Erkenntnisse“ einen „erkennbaren menschlichen Einfluß auf das globale Klima“ nahelegt, erregte bald weltweites Aufsehen. Der Bericht geht aber weit über diese Erkenntnis hinaus. Er bestätigt zum Beispiel, daß sogenannte „*no regrets options*“ (Maßnahmen, die auch ohne den Klimawandel sinnvoll sind) und andere kostenwirksame Strategien gegen den Klimawandel verfügbar sind. Vor dem Erscheinen seines Dritten Sachstandsberichts im Jahr 2001 wird der IPCC eine Reihe technischer Artikel und Sonderberichte herausgeben.

- ◆ **Auf der COP-3 im Dezember 1997 wurde das Protokoll von Kyoto verabschiedet.** An dieser vom 1. bis 11. Dezember abgehaltenen hochkarätigen Konferenz nahmen rund 10 000 Delegierte, Beobachter und Journalisten teil. Das per Konsens verabschiedete Protokoll verpflichtet die Industrieländer rechtsverbindlich dazu, ihre gemeinsamen Treibhausgasemissionen innerhalb des Zeitraums 2008 bis 2012 gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 um mindestens 5 Prozent zu reduzieren. Das Protokoll tritt in Kraft 90 Tage, nachdem es von mindestens 55 Staaten ratifiziert worden ist, darunter entwickelte Länder, auf die insgesamt mindestens 55 Prozent aller von dieser Ländergruppe 1990 ausgebrachten CO₂-Emissionen entfallen.

- ◆ **Die 1998 abgehaltene Konferenz von Buenos Aires verabschiedete einen Zweijahres-Aktionsplan.** Die COP-4, die vom 2. bis 13. November stattfand, hat Fristen gesetzt für die abschließende Regelung der noch ausstehenden Punkte aus dem Protokoll von Kyoto, damit das Übereinkommen bei Inkrafttreten nach dem Jahr 2000 vollständig umgesetzt werden kann. Neben den „Mechanismen“ des Protokolls behandelt der Aktionsplan Fragen der Einhaltung von Verpflichtungen sowie politische Strategien und Maßnahmen. Die COP-5 wird vom 25. Oktober bis 5. November in Bonn stattfinden, die COP-6 gegen Ende des Jahres 2000.

Die Klimakonvention

◆ **Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (kurz „Klimakonvention“)** bildet die Grundlage für die weltweiten Anstrengungen zur Bekämpfung der globalen Erwärmung. 1992 anlässlich des Umweltgipfels von Rio zur Unterzeichnung aufgelegt, hat es als Endziel „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau (...), auf dem eine gefährliche anthropogene [vom Menschen verursachte] Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.“

◆ **Die Klimakonvention legt einige Leitprinzipien fest.** Das Vorsorgeprinzip besagt, daß das Fehlen absoluter wissenschaftlicher Gewißheit nicht als Entschuldigung für Tatenlosigkeit dienen darf, wenn ernste oder nicht wieder gutzumachende Schäden drohen. Das Prinzip der „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ der Staaten überträgt die führende Rolle in der Bekämpfung des Klimawandels den entwickelten Staaten. Andere Prinzipien betreffen die besonderen Bedürfnisse der Entwicklungsländer und die Notwendigkeit, eine nachhaltige Entwicklung zu fördern.

◆ **Sowohl die entwickelten als auch die Entwicklungsländer nehmen eine Reihe allgemeiner Verpflichtungen auf sich.** Alle Vertragsparteien werden „nationale Mitteilungen“ erstellen und vorlegen, in denen ihre Treibhausgasemissionen nach Quellen und der Abbau dieser Gase durch „Senken“ aufgeführt sind. Sie werden nationale Programme zur Abschwächung des Klimawandels verabschieden und Strategien zur Anpassung an die Auswirkungen entwickeln. Sie werden ferner den Technologietransfer sowie die nachhaltige Bewirtschaftung, Erhaltung und Verbesserung von Senken und „Speichern“ von Treibhausgasen (etwa Wälder und Meere) fördern. Außerdem werden die Vertragsparteien Überlegungen zum Klimawandel in ihre einschlägigen sozial-, wirtschafts- und umweltpolitischen Strategien mit einbeziehen, in wissenschaftlichen, technischen und Bildungsfragen zusammenarbeiten sowie Bildungsmaßnahmen, das öffentliche Bewußtsein und den Informationsaustausch im Hinblick auf Klimaänderungen fördern.

◆ **Die Industrieländer gehen mehrere konkrete Verpflichtungen ein.** Die meisten Mitglieder der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) sowie die mittel- und osteuropäischen Staaten – gemeinsam als Vertragsparteien nach Anhang I bezeichnet – sind verpflichtet, politische und sonstige Maßnahmen zu ergreifen, um ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen. Außerdem müssen sie in regelmäßigen Abständen nationale Mitteilungen über ihre Strategien im Hinblick auf den Klimawandel vorlegen. Mehrere Staaten können zusammen gemeinsame Emissionsobergrenzen festlegen. Den im Übergang zur Marktwirtschaft befindlichen Reformstaaten wird dabei ein gewisses Maß an Flexibilität bei der Umsetzung ihrer Verpflichtungen zugestanden.

◆ **Die reichsten Länder sind aufgerufen, „neue und zusätzliche finanzielle Mittel“ zur Verfügung zu stellen und den Technologietransfer zu erleichtern.** Diese sogenannten Länder nach Anhang II (im wesentlichen die OECD-Staaten) finanzieren „die vereinbarten vollen Kosten“, die den Entwicklungsländern bei der Erstellung ihrer nationalen Mitteilungen entstehen. Diese Gelder müssen „neu und zusätzlich“ sein, d.h. sie sollten nicht aus bestehenden Entwicklungshilfemitteln abgezweigt werden. Die Vertragsparteien nach Anhang II werden ferner bestimmte andere Maßnahmen im Zusammenhang mit der Klimakonvention



mitfinanzieren, und sie werden die Weitergabe umweltverträglicher Technologien an andere Vertragsparteien – insbesondere an Entwicklungsländer – bzw. deren Zugang zu diesen Technologien fördern und finanzieren. Die Klimakonvention erkennt an, daß der Umfang, in dem die zu den Entwicklungsländern zählenden Vertragsparteien ihre Verpflichtungen aus der Konvention erfüllen, von der finanziellen und technischen Hilfe der entwickelten Länder abhängen wird.

◆ **Das oberste Gremium der Klimakonvention ist die Konferenz der Vertragsparteien (COP).** In ihr sind alle Staaten vertreten, die die Konvention ratifiziert haben (bis Mai 1999 waren dies über 175). Sie hielt ihre erste Tagung 1995 in Berlin ab (COP-1) und tritt, sofern die Vertragsparteien nichts anderes beschließen, einmal jährlich zusammen. Ihre Aufgabe ist es, die Umsetzung der Klimakonvention zu fördern und zu überprüfen. Sie wird in regelmäßigen Abständen die bestehenden Verpflichtungen im Lichte der Zielsetzung der Konvention sowie im Hinblick auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse und die Wirksamkeit nationaler Klimawandelprogramme überprüfen. Die COP kann durch Änderungen und Protokolle zur Konvention neue Verpflichtungen beschließen. Im Dezember 1997 verabschiedete sie das Protokoll von Kyoto, das für die entwickelten Länder weitergehende emissionsbezogene Verpflichtungen für die Zeit nach dem Jahr 2000 vorsieht.

◆ **Mit der Konvention wurden ferner zwei Nebenorgane eingerichtet.** Das Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung (SBSTA) versorgt die Konferenz der Vertragsparteien rechtzeitig mit Informationen und Gutachten zu wissenschaftlichen und technologischen Fragen im Zusammenhang mit der Klimakonvention. Das Nebenorgan für die Durchführung der Konvention (SBI) unterstützt die Konferenz der Vertragsparteien bei der Beurteilung und Überprüfung der Durchführung der Konvention. Auf der COP-1 wurden zwei weitere Organe eingesetzt: die Ad-hoc-Gruppe für das Berliner Mandat (AGBM), die ihre Arbeit im Dezember 1997 in Kyoto abschloß, und die Ad-hoc-Gruppe zu Artikel 13 (AG13), die ihre Arbeit 1998 beendete.

◆ **Ein Finanzierungsmechanismus sorgt für die Bereitstellung finanzieller Mittel in Form nicht rückzahlbarer Zuschüsse oder zu Vorzugsbedingungen.** In der Klimakonvention heißt es, daß dieser Mechanismus unter der Aufsicht der Konferenz der Vertragsparteien arbeitet und dieser gegenüber rechenschaftspflichtig ist; die Konferenz der Vertragsparteien entscheidet über seine politischen Richtlinien, seine Programmschwerpunkte und die Zuteilungskriterien. Es ist für eine gerechte und ausgewogene Vertretung aller Vertragsparteien im Rahmen einer transparenten Leitungsstruktur zu sorgen. Mit der Erfüllung der Aufgaben des Finanzierungsmechanismus kann eine oder mehrere internationale Einrichtungen beauftragt werden. In der Konvention wurde zunächst vorläufig die „Globale Umweltfazilität“ (GEF) mit dieser Rolle betraut; 1999 entschied die COP, diese Aufgabe der GEF dauerhaft zu übertragen und den Finanzierungsmechanismus alle vier Jahre zu überprüfen.

◆ **Die COP und ihre Nebenorgane werden von einem Sekretariat unterstützt.** Das während der Verhandlungen zur Konvention tätige vorläufige Sekretariat wurde zum 1. Januar 1996 in das ständige Sekretariat umgewandelt. Es veranstaltet die Sitzungen der Konferenz der Vertragsparteien und ihrer Nebenorgane, bereitet offizielle Dokumente vor, betreut die Tagungen, sammelt Daten, stellt die ihm vorgelegten Berichte zusammen und leitet sie weiter, sorgt für die Unterstützung der Vertragsparteien bei der Zusammenstellung und Weiterleitung von Informationen, stimmt sich mit den Sekretariaten anderer einschlägiger internationaler Gremien ab und berichtet der COP über seine Tätigkeit.

Die Konferenz der Vertragsparteien (COP)

◆ **Die Konferenz der Vertragsparteien ist das oberste Gremium der Klimakonvention.**

Die meisten Staaten der Welt sind Mitglieder – im Mai 1999 waren es über 175. Die Konvention tritt jeweils 90 Tage, nachdem sie von einem Staat ratifiziert wurde, für diesen in Kraft. Die COP trat erstmals 1995 zusammen und tagt einmal jährlich, sofern sie nichts anderes beschließt. (Die verschiedenen Nebenorgane zur Beratung und Unterstützung der COP tagen in kürzeren Abständen.)

◆ **Aufgabe der COP ist es, die Umsetzung der Klimakonvention zu fördern und zu überprüfen.** In der Konvention ist festgelegt, daß die COP regelmäßig die vertraglich vereinbarten Verpflichtungen der Vertragsparteien und die institutionellen Regelungen überprüft. Sie sollte dies im Lichte der Zielsetzung der Konvention, der bei ihrer Umsetzung gemachten Erfahrungen und des jeweiligen Standes der Wissenschaft tun.

◆ **Die Fortschritte werden weitgehend durch Informationsaustausch überprüft.** Die COP beurteilt die Informationen über politische Maßnahmen und Emissionen, die von den Vertragsparteien im Rahmen ihrer „nationalen Mitteilungen“ untereinander ausgetauscht werden. Sie fördert und leitet die Ausarbeitung und regelmäßige Weiterentwicklung vergleichbarer Methoden zur Quantifizierung der Netto-Treibhausgasemissionen und zur Beurteilung der Wirksamkeit der zur Emissionsbegrenzung erforderlichen Maßnahmen. Anhand der verfügbaren Informationen beurteilt sie die Bemühungen der Vertragsparteien im Hinblick auf die Erfüllung ihrer vertraglichen Verpflichtungen und verabschiedet und veröffentlicht regelmäßige Berichte über die Durchführung der Konvention.

◆ **Die Mobilisierung finanzieller Mittel ist eine wichtige Voraussetzung dafür, daß die Entwicklungsländer bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen Unterstützung erhalten.**

Sie brauchen diese Unterstützung, um ihre nationalen Mitteilungen vorlegen, sich an die nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels anpassen und umweltverträgliche Technologien beschaffen zu können. Die COP überwacht daher die Bereitstellung neuer und zusätzlicher Mittel durch die entwickelten Staaten.

◆ **Die COP ist auch dafür verantwortlich, daß der gesamte Prozeß der Zielsetzung entsprechend abläuft.** Zusätzlich zu den zwei durch die Konvention eingerichteten Nebenorganen – dem Nebenorgan für die Durchführung (SBI) und dem Nebenorgan für wissenschaftliche und technische Beratung (SBSTA) – kann die COP zur Unterstützung ihrer Arbeit weitere Nebenorgane einsetzen, wie sie dies auf ihrem ersten Treffen getan hat (siehe unten). Sie überprüft die von diesen Gremien vorgelegten Berichte und gibt ihnen Richtlinien vor. Ferner hat sie den Auftrag, im Konsensverfahren eine Geschäfts- und Finanzordnung für sich selbst und für ihre Nebenorgane festzulegen und zu beschließen. (Bis zum Frühjahr 1999 hatte sie keine Geschäftsordnung verabschiedet; vorläufig geht sie, mit Ausnahme der Abstimmungsregeln, von Fall zu Fall vor.)

◆ **Die Konferenz der Vertragsparteien hielt ihre erste Tagung, die sogenannte COP-1, in Berlin ab.**

Die historische Stadt Berlin war vom 28. März bis 7. April 1995 Treffpunkt der ersten weltweiten Tagung über den Klimawandel auf Ministerebene nach dem „Umweltgipfel“ von Rio 1992. Einer Bestimmung der Klimakonvention zufolge sollte die COP-1 überprüfen, ob die Verpflichtungen der entwickelten Länder im Rahmen der für das Jahr 2000 anvisierten Rückführung ihrer Emissionen auf das Niveau von 1990 ausreichen, um die Zielsetzung der Klimakonvention zu erfüllen. Die Vertragsparteien stellten übereinstimmend fest, daß für die Zeit nach dem Jahr 2000 in der Tat neue Verpflichtungen nötig



seien. Sie verabschiedeten das „Berliner Mandat“ und setzten ein neues Nebenorgan – die Ad-hoc-Gruppe für das Berliner Mandat (AGBM) – ein, das „ein Protokoll oder ein anderes Rechtsdokument“ zur Beschlußfassung auf der COP-3 1997 ausarbeiten sollte. Die Tagung in Berlin begann auch mit dem Prozeß zur Überprüfung der Durchführung der Konvention, indem sie eine Sammlung und Synthese der ersten 15 von den entwickelten Ländern eingereichten nationalen Mitteilungen diskutierte.

◆ **Die zweite Tagung der COP führte eine Bestandsaufnahme der Fortschritte im Rahmen des Berliner Mandats durch.** Die Minister betonten die Notwendigkeit, die Gespräche über Mittel und Wege zur Stärkung der Klimakonvention zu beschleunigen. In ihrer Genfer Erklärung würdigten sie außerdem den 1995 vorgelegten Zweiten Sachstandsbericht der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe über Klimaänderungen (IPCC) als „die derzeit umfassendste und kompetenteste Beurteilung der Wissenschaft vom Klimawandel, seiner Auswirkungen und der bislang verfügbaren Reaktionsmöglichkeiten“. Die vom 8. bis 19. Juli 1996 im Genfer Palais des Nations abgehaltene COP-2 befaßte sich auch mit dem Prozeß der Überprüfung der nationalen Mitteilungen und entschied über den Inhalt der ersten nationalen Mitteilungen, die die Entwicklungsländer ab April 1997 vorlegen sollten.

◆ **Die dritte Tagung der Konferenz der Vertragsparteien verabschiedete das Protokoll von Kyoto.** Die Vertragsparteien trafen sich vom 1. bis 11. Dezember 1997 im japanischen Kyoto, um den mit dem Berliner Mandat begonnen Prozeß zum Abschluß zu bringen. Das Protokoll, das sie erarbeiteten, ist ein rechtsverbindliches Übereinkommen, durch das sich die Industrieländer verpflichten, ihre gemeinsamen Emissionen von insgesamt sechs Treibhausgasen innerhalb des Zeitraums 2008 bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent zu reduzieren. Um den Vertragsparteien dabei zu helfen, ihre Emissionen kostengünstig zu reduzieren und gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung zu fördern, sieht das Protokoll drei „Mechanismen“ vor: den Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung („clean development mechanism“) sowie ein System zum Emissionshandel und die gemeinsame Umsetzung mit anderen Industrieländern („joint implementation“). Auf der COP-3 wurden auch die in der Konvention vorgesehenen Instrumente zur Finanzierung, zum Technologietransfer und zur Überprüfung von Informationen erörtert.

◆ **Auf der COP-4 wurde ein Zweijahres-Aktionsplan verabschiedet, um die noch ausstehenden Details des Protokolls abschließend zu klären.** Um sicherzustellen, daß das Übereinkommen vollständig durchgeführt werden kann, wenn es irgendwann nach dem Jahr 2000 in Kraft tritt, sind die Regierungen übereingekommen, bis zur COP-6 festzulegen, wie die „Mechanismen“ im einzelnen aussehen sollen. Der Aktionsplan behandelt auch Fragen der Einhaltung von Verpflichtungen sowie entsprechende politische Konzepte und Maßnahmen, und er befaßt sich mit konventionsbezogenen Aspekten wie etwa dem Transfer von klimaschonenden Technologien in Entwicklungsländer und den besonderen Bedürfnissen und Belangen jener Länder, die von der globalen Erwärmung besonders betroffen sind und die mit den entsprechenden Antwortstrategien verbundenen wirtschaftlichen Folgen zu tragen haben. Die COP-4 fand vom 2. bis 13. November 1998 in Buenos Aires statt. Die COP-5 in Bonn wird vom 25. Oktober bis 5. November 1999 und die COP-6 gegen Ende des Jahres 2000 tagen.

Weitergabe und Überprüfung wichtiger Informationen

◆ **Einer der wichtigsten Punkte der Klimakonvention ist der gegenseitige Austausch von Informationen durch die Regierungen.** In der Konvention wird von den Mitgliedern verlangt, daß sie der Konferenz der Vertragsparteien (COP) in regelmäßigen Abständen „nationale Mitteilungen“ vorlegen. Diese Informationen über die Treibhausgasemissionen jedes einzelnen Staates, über internationale Zusammenarbeit und über die nationalen Aktivitäten werden regelmäßig überprüft, so daß sich die Vertragsparteien ein Bild von der Wirksamkeit der Konvention machen und daraus Lehren für zukünftige nationale und globale Maßnahmen ziehen können.

◆ **In den nationalen Mitteilungen wird berichtet, welche Schritte eine Vertragspartei zur Umsetzung der Klimakonvention unternimmt.** Dazu zählen etwa politische Maßnahmen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an den Klimawandel, Klimaforschung, die Beobachtung der Auswirkungen des Klimas auf Ökosysteme und die Landwirtschaft, freiwillige Maßnahmen der Industrie, die Einbeziehung von Klimaschutz-Überlegungen in langfristige Planungen, die Bewirtschaftung von Küstenzonen, Katastrophenschutz, Ausbildung und Öffentlichkeitsarbeit.

◆ **„Nationale Inventare“ über die Emissionen und den Abbau von Treibhausgasen werden regelmäßig aktualisiert.** Diese Inventare enthalten detaillierte Informationen über die Emissionsquellen für jedes Gas, die „Senken“ (wie beispielsweise Wälder), durch die Treibhausgase in der Atmosphäre abgebaut werden, und die jeweiligen Mengen. Die Informationen sind auf der Grundlage von vorher vereinbarten Methoden zu erfassen, so daß sichergestellt ist, daß die nationalen Daten konsistent und miteinander vergleichbar sind und zu weltweiten Datenserien zusammengestellt werden können.

◆ **Die entwickelten Länder stellen zusätzlich Informationen über ihre Bemühungen zur Begrenzung der Emissionen zur Verfügung.** Die Vertragsparteien nach Anhang I sind verpflichtet, ihre politischen Konzepte und die von ihnen eingeleiteten Maßnahmen darzulegen, mit denen sie bis zum Jahr 2000 die Rückführung der Treibhausgasemissionen auf das Niveau von 1990 verwirklichen wollen. Sie liefern außerdem Prognosen bis zum Jahr 2000, inwieweit ihre politischen Maßnahmen die Emissionen und Senken beeinflussen werden. Entwickelte Länder wurden dazu verpflichtet, die erste Mitteilung spätestens sechs Monate nach erfolgtem Beitritt einzureichen. Diese ersten Mitteilungen waren einzelne Dokumente, meist mit Anhängen und einer kurzen Zusammenfassung der Maßnahmen. Die Mehrheit der entwickelten Länder haben bereits ihre zweiten Mitteilungen eingereicht, die ab Anfang April 1997 vorgelegt werden sollten.

◆ **Die nationalen Mitteilungen der entwickelten Länder werden einem dreistufigen Überprüfungsprozeß unterzogen.** Die erste Stufe besteht darin, die in den eingegangenen Mitteilungen enthaltenen Informationen zu sammeln und zusammenzufassen. Für jeden Überprüfungsprozeß stellt das Sekretariat der Konvention ein Team von Experten aus entwickelten und Entwicklungsländern sowie von internationalen Organisationen zusammen. Bei der ersten Überprüfung der zweiten nationalen Mitteilungen gegen Ende 1997 wurden Eingaben von insgesamt 18 Vertragsparteien berücksichtigt; die zweite Überprüfung gegen Ende 1998 geschah auf der Grundlage von 26 Mitteilungen.

◆ **Die zweite Stufe besteht in einer detaillierten Überprüfung der einzelnen Mitteilungen.** Zum Teil auf der Grundlage von Besuchen vor Ort nehmen die Experten eine umfassende technische Auswertung jeder Mitteilung vor. Dieser Ansatz ermöglicht nicht nur eine gründlichere Analyse der Daten, sondern hat zudem den Vorteil, daß die Teilnahme von Experten aus Entwicklungsländern zum Aufbau von Kapazitäten in ihren jeweiligen Ländern beiträgt. Im Verbund



mit den in der ersten Stufe zusammengetragenen Informationen werden diese detaillierten Untersuchungen für jede Sitzung der Konferenz der Vertragsparteien in einem „Zustands- und Synthesebericht“ aufbereitet.

◆ **Der Prozeß endet mit einer umfassenden Überprüfung durch die COP.** Auf dieser dritten Stufe steht die Frage im Vordergrund, wie die Umsetzung der Konvention die internationalen Maßnahmen zum Klimawandel beeinflusst.

◆ **Die Überprüfung der nationalen Mitteilungen im Jahr 1998 hat gezeigt, daß die Treibhausgasemissionen in den reichsten Ländern (d.h. im wesentlichen den OECD-Mitgliedsstaaten) seit 1990 um 3,5 Prozent gestiegen sind.** Währenddessen sind die Emissionen in den Reformstaaten Mittel- und Osteuropas und der ehemaligen Sowjetunion bedingt durch den wirtschaftlichen Umstrukturierungsprozeß um 28 Prozent zurückgegangen. Dies hat zur Folge, daß die Emissionen der entwickelten Länder insgesamt seit 1990 um 4,6 Prozent gesunken sind. Ein Vergleich der Daten aus der Bestandsaufnahme von 1990 mit Projektionen für die Jahre 2000 und 2010 läßt darauf schließen, daß die Emissionen im Jahr 2000 um rund 3 Prozent niedriger sein werden. Sie werden allerdings bis 2010 wieder um 8 Prozent ansteigen, wenn nicht zusätzliche gegensteuernde Maßnahmen ergriffen werden. (Zu den Details hinsichtlich CO₂ siehe Tabelle 4 auf dem Informationsblatt 30.)

◆ **1995 machte Kohlendioxid 82 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen von entwickelten Ländern aus.** Die Überprüfung im Jahr 1998 hat bestätigt, daß die Verbrennung von Treibstoff die bedeutendste Quelle für den Ausstoß von CO₂ ist; 1995 machte sie 96 Prozent der Emissionen aus. Da die in dieser Überprüfung berücksichtigten 36 Vertragsparteien für den Großteil der 1990 verzeichneten weltweiten Kohlendioxidemissionen verantwortlich sind, scheinen die Daten zu bestätigen, daß Kohlendioxid in der Tat das bedeutendste durch menschliche Aktivitäten verursachte Treibhausgas ist. Die Regierungen gehen im allgemeinen davon aus, daß ihre Daten über den Kohlendioxidausstoß (mit Ausnahme von Veränderungen in der Landnutzung und der Forstwirtschaft) in hohem Maße zuverlässig sind.

◆ **Methan und Distickstoffoxid machten 12 Prozent bzw. 4 Prozent aller Emissionen aus.** Die Verlässlichkeit der Daten zu diesen Gasen ist mittel bis gering einzustufen, je nachdem, welchen Sektor man betrachtet. Im Hinblick auf Methan prognostizieren bis auf fünf Länder alle Vertragsparteien einen Rückgang oder eine Stabilisierung ihrer Emissionen. Der Distickstoffoxidausstoß wird in einem Großteil der entwickelten Länder ebenfalls zurückgehen oder sich auf dem gegenwärtigen Niveau einpendeln. Der von diesen Ländern freigesetzte Anteil an H-FKW, FKW und SF₆ machte 1995 zusammengenommen 2 Prozent der Gesamtemissionen aus.

◆ **Die entwickelten Länder setzen im Klimaschutz ein breites Spektrum politischer Konzepte und Maßnahmen ein.** Die von einer Regierung gewählten politischen Maßnahmen werden von den Verhältnissen im jeweiligen Land diktiert, etwa seiner politischen Struktur und volkswirtschaftlichen Gesamtsituation. Viele davon sind Maßnahmen, die auch ohne Klimawandel sinnvoll sind („no regrets“ measures) und sich gleichzeitig positiv auf die Umwelt oder die Wirtschaft auswirken. Neben Gesetzen und Verordnungen und wirtschaftlichen Lenkungsinstrumenten fördern die Vertragsparteien auch freiwillige Vereinbarungen zwischen der Industrie und staatlichen Behörden. Andere Maßnahmen betreffen die Forschung und Entwicklung sowie Information und Bildung.

◆ **Für die meisten wichtigen Wirtschaftsbereiche gibt es branchenspezifische Maßnahmen.** Zu den politischen Maßnahmen für den Energiesektor (in vielen Ländern die größte Emissionsquelle) zählen zum Beispiel der Umstieg auf kohlenstoffarme oder -freie Brennstoffe, die Reform der Marktordnung zur Begünstigung des Wettbewerbs und die Streichung von Kohlesubventionen. Zu den industriepolitischen Instrumenten zählen freiwillige Vereinbarungen, Normen, finanzielle Anreize und die Liberalisierung der Energiepreise. In den Bereichen Wohnungsbau, Handel und Institutionen konzentrieren sich die Maßnahmen auf energiesparende Normen für Neubauten, die Erhöhung der Energiepreise und Informationskampagnen. Maßnahmen in der Landwirtschaft haben die Verringerung der Herdengröße, die Senkung des Düngemittelverbrauchs und eine verbesserte Abfallwirtschaft zum Ziel. Obwohl die meisten Regierungen mit einer Ausweitung des Verkehrssektors rechnen, wurden relativ wenige Maßnahmen zur Emissionskontrolle in diesem Bereich gemeldet.

◆ **Die Entwicklungsländer begannen 1997 mit ihren Mitteilungen.** Die Mitteilungen sind 36 Monate nach Beitritt des Landes bzw. nach Bereitstellung der erforderlichen Finanzmittel vorzulegen. Die Vertragsparteien, die zu den am wenigsten entwickelten Länder zählen, dürfen den Zeitpunkt ihrer Erstmitteilung selbst bestimmen. 1996 legte die COP die Richtlinien und das Format für diese Erstmitteilungen fest. Außerdem hat sie die Globale Umweltfazilität auf die Notwendigkeit einer raschen Genehmigung und Freigabe der entsprechenden Geldmittel hingewiesen, damit die Entwicklungsländer ihre Mitteilungen fristgerecht vorlegen können.

◆ **In welchen Zeitabständen die Vertragsparteien in Zukunft ihre Mitteilungen machen werden, bestimmt die COP.** Die COP wird sich außerdem weiter für eine Verbesserung der Qualität und Verwertbarkeit der nationalen Mitteilungen einsetzen, da es etwa hinsichtlich der Berechnung der für die Bestandsaufnahme erforderlichen Daten immer noch eine Reihe methodischer und praktischer Probleme gibt. Schwierigkeiten bereiten ferner die wissenschaftlichen Unsicherheitsfaktoren und die Datenerhebung. Die Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe über Klimaänderungen (IPCC) ist daher bemüht, die Methoden für die Erstellung der nationalen Mitteilungen zu verbessern.

Das Protokoll von Kyoto

◆ **Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen stärkt die internationalen Anstrengungen im Kampf gegen den Klimawandel.** Das Protokoll, das auf der dritten Sitzung der Konferenz der Vertragsparteien (COP-3) im Dezember 1997 per Konsens verabschiedet wurde, schreibt den (entwickelten) Ländern nach Anhang I rechtsverbindliche Ziele zur Begrenzung und Reduktion von Emissionen für die Zeit nach dem Jahr 2000 vor. Indem das Protokoll die in diesen Ländern seit 150 Jahren anhaltende Zunahme der Treibhausgasemissionen zu stoppen und rückgängig zu machen sucht, ist es auf dem besten Wege, die internationale Gemeinschaft dem endgültigen Ziel der Konvention – nämlich „eine gefährliche anthropogene [vom Menschen verursachte] Störung des Klimasystems“ zu verhindern – einen Schritt näher zu bringen.

◆ **Die entwickelten Länder verpflichten sich, ihre gemeinsamen Emissionen von sechs wichtigen Treibhausgasen um mindestens 5 Prozent zu verringern.** Dieses Gruppenziel wird erreicht werden, indem die einzelnen Länder in unterschiedlichem Maße Reduktionen vornehmen: So werden die Schweiz, die meisten mittel- und osteuropäischen Staaten wie auch die Europäische Union ihre Emissionen um 8 Prozent senken, wobei die einzelnen EU-Mitgliedsländer unterschiedliche Reduktionsraten zugeteilt bekommen. Die Vereinigten Staaten werden um 7 Prozent und Kanada, Ungarn, Japan und Polen um 6 Prozent reduzieren. Während Rußland, Neuseeland und die Ukraine aufgefordert sind, ihre Emissionen auf dem gegenwärtigen Niveau zu stabilisieren, können Norwegen, Australien und Island ihren Ausstoß um jeweils bis zu 1, 8 bzw. 10 Prozent erhöhen. Die sechs Treibhausgase sollen in einem „Korb“ zusammengefaßt werden, wobei Reduktionen bei einzelnen Gasen in „CO₂-Äquivalente“ übersetzt und dann zu einem Gesamtwert aufaddiert werden.

◆ **Jedes Land muß sein Emissionsziel innerhalb des Zeitraums 2008 bis 2012 erreicht haben** Ob die jeweilige Vorgabe umgesetzt wurde, wird anhand des Durchschnittswertes der Emissionen über den Fünfjahreszeitraum errechnet. Bis zum Jahr 2005 müssen dabei „nachweisbare Fortschritte“ erzielt worden sein. Die Reduktionen der drei wichtigsten Gase – Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) – werden anhand des Basisjahres 1990 errechnet (mit Ausnahmen für einige Reformstaaten). Einschnitte bei drei langlebigen Industriegasen – Hydrofluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) – können entweder anhand des Basisjahres 1990 oder 1995 errechnet werden. (Eine wichtige Gruppe von Industriegasen, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), sind Gegenstand des 1987 verabschiedeten Montrealer Protokolls über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen.)

◆ **Die tatsächlichen Reduktionen werden weit über 5 Prozent liegen.** Gemessen an dem für das Jahr 2000 prognostizierten Emissionsniveau werden die reichsten Industrieländer (OECD-Mitgliedstaaten) ihre gemeinsamen Emissionen um rund 10 Prozent senken müssen. Dies rührt daher, daß es vielen Industrieländern nicht gelingen wird, ihren Ausstoß, wie vorher unverbindlich vereinbart, bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen; ihre Emissionen sind seit 1990 faktisch gestiegen. Während die im Übergang zur Marktwirtschaft befindlichen Reformstaaten dagegen seit 1990 sinkende Emissionswerte verzeichnet haben, kehrt sich dieser Trend jetzt um. Für die entwickelten Länder insgesamt bedeuten die nominalen 5 Prozent, die im Protokoll als Ziel festgelegt sind, daher eine Reduktion von faktisch 20 Prozent verglichen mit den Emissionen, die für 2010 prognostiziert werden, wenn gegensteuernde Maßnahmen ausbleiben.



- ◆ **Den Ländern wird ein gewisser Spielraum bei der Umsetzung und Messung ihrer Emissionsreduktionen eingeräumt.** Insbesondere wird ein System zum „Handel von Emissionen“ eingerichtet, das es den Industrieländern erlaubt, untereinander Emissionsguthaben zu kaufen und zu verkaufen. Sie können auch „Emissionsreduktionseinheiten“ erwerben, indem sie bestimmte Projekte in anderen entwickelten Ländern finanzieren. Darüber hinaus wird ein „Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung“ es den Industrieländern ermöglichen, Emissionsreduktionsprojekte in Entwicklungsländern zu finanzieren und sich diese Leistungen auf ihre Reduktionsverpflichtungen anrechnen zu lassen. Die mit Hilfe dieser verschiedenen Instrumente erreichten Reduktionen sollen entsprechende Maßnahmen im eigenen Land ergänzen. Die Richtlinien zur Durchführung dieser verschiedenen Instrumente werden im Rahmen eines Zweijahres-Aktionsplans erarbeitet, der mit der COP-6 gegen Ende des Jahres 2000 oder im Frühjahr 2001 abgeschlossen sein soll.

- ◆ **Die Regierungen werden Emissionen in einer Vielzahl unterschiedlicher Wirtschaftsbereiche reduzieren.** Das Protokoll ermutigt Regierungen, miteinander zusammenzuarbeiten, die Energieauslastung effizienter zu gestalten, die Bereiche Energie und Transport zu reformieren, erneuerbare Energieformen zu fördern, unangemessene finanzpolitische Instrumente und marktwirtschaftliche Mängel schrittweise abzubauen, Methanemissionen aus müllverarbeitenden und energieproduzierenden Anlagen zu begrenzen sowie Wälder und andere Kohlenstoff-„Senken“ zu schützen. Die Messung der Veränderungen bei den aus Wäldern stammenden Netto-Emissionen (berechnet als Emissionen abzüglich der Absorption von CO₂) ist methodisch komplex und bedarf noch der Klärung.

- ◆ **Das Protokoll wird die Umsetzung bestehender Verpflichtungen durch die Länder voranbringen.** In der Konvention haben sich entwickelte und Entwicklungsländer auf folgende Maßnahmen geeinigt: ihre Emissionen zu begrenzen und die Anpassung an die Auswirkungen zukünftiger Klimaänderungen zu fördern; Informationen über ihre nationalen Programme und Inventare zum Klimawandel bereitzustellen; den Technologietransfer zu fördern; bei der wissenschaftlichen und technologischen Forschung zusammenzuarbeiten; und Maßnahmen zur Bewußtseinsbildung, Erziehung und Ausbildung zu fördern. Das Protokoll hebt zudem nochmals die Notwendigkeit hervor, „neue und zusätzliche“ finanzielle Ressourcen bereitzustellen, um die „vereinbarten vollen Kosten“ zu decken, die sich für die Entwicklungsländer durch die Umsetzung dieser Verpflichtungen ergeben.

- ◆ **Die Konferenz der Vertragsparteien (COP) der Konvention wird auch als Tagung der Vertragsparteien (MOP) des Protokolls fungieren.** Diese Struktur soll die Kosten reduzieren und die Steuerung des zwischenstaatlichen Prozesses erleichtern. Die Vertragsparteien der Konvention, die nicht gleichzeitig Vertragsparteien des Protokolls sind, können an Treffen zur Erörterung protokollrelevanter Fragen als Beobachter teilnehmen.

- ◆ **Die neue Vereinbarung wird in regelmäßigen Abständen überprüft werden.** Die Vertragsparteien werden auf der Basis der besten verfügbaren wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Daten „angemessene Maßnahmen“ ergreifen. Die erste Überprüfung wird während der zweiten dem Protokoll gewidmeten Sitzung der COP vorgenommen werden. Gespräche über die Verpflichtungen für die Zeit nach dem Jahr 2012 sollen 2005 beginnen.

- ◆ **Das Protokoll wurde vom 16. März 1998 bis 15. März 1999 zur Unterzeichnung aufgelegt und in dieser Zeit von 83 Ländern und der Europäischen Gemeinschaft unterzeichnet.** Es tritt in Kraft 90 Tage, nachdem es von mindestens 55 Vertragsparteien der Konvention unterzeichnet worden ist, darunter entwickelte Länder, deren CO₂-Ausstoß zusammengenommen mindestens 55 Prozent der von dieser Ländergruppe im Jahr 1990 ausgebrachten CO₂-Emissionen ausmacht. (Staaten, die das Protokoll in der oben genannten Frist nicht unterzeichnet haben, können im Rahmen der üblichen Annahme-, Genehmigungs- oder Beitrittsverfahren dennoch Vertragsparteien werden.) In der Zwischenzeit werden die Regierungen fortfahren, ihre Verpflichtungen aus der Klimakonvention zu erfüllen. Sie werden außerdem eine Vielzahl praktischer Fragen im Zusammenhang mit dem Protokoll und seiner zukünftigen Umsetzung auf den regulären Sitzungen der COP und ihrer Nebenorgane behandeln.

Wie durch menschliche Aktivitäten Treibhausgase entstehen

◆ **Bei den meisten wichtigen Aktivitäten des Menschen werden Treibhausgase freigesetzt.** Seit 1800 stiegen die Emissionen bedingt durch die industrielle Revolution und Änderungen in der Bodennutzung drastisch an. Viele der Aktivitäten, bei denen Treibhausgase abgegeben werden, sind heute aus der globalen Wirtschaft und dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken.

◆ **Das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entweichende Kohlendioxid ist die größte einzelne Quelle anthropogener Treibhausgasemissionen.** Die Bereitstellung und der Verbrauch fossiler Brennstoffe verursachen rund drei Viertel der gesamten Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen der Menschheit (1992 rund 5,9 Milliarden Tonnen Kohlenstoff), ein Fünftel der Methan (CH₄)-Emissionen und eine beträchtliche Menge Distickstoffoxid (N₂O). Außerdem werden dabei Stickoxide (NO_x), Kohlenwasserstoffe (KWs) und Kohlenmonoxid (CO) freigesetzt, die zwar selbst keine Treibhausgase sind, jedoch chemische Kreisläufe in der Atmosphäre beeinflussen, die andere Treibhausgase wie troposphärisches Ozon produzieren oder zerstören. Die ebenfalls bei der Verbrennung an die Atmosphäre abgegebenen Sulfataerosole lassen den Erwärmungseffekt der Treibhausgase durch ihren Abkühlungseffekt vorläufig noch nicht in vollem Umfang sichtbar werden.

◆ **Die meisten Emissionen im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch stammen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe.** Erdöl, Erdgas und Kohle (letztere emittiert die größte Menge Kohlenstoff pro gelieferter Energieeinheit) sind die wichtigsten Energieträger für die Stromerzeugung, den Betrieb von Kraftfahrzeugen, die Beheizung von Häusern und den Betrieb von Fabriken. Würden Brennstoffe zur Gänze verbrennen, wäre Kohlendioxid das einzige kohlenstoffhaltige Nebenprodukt. Da der Verbrennungsprozess aber oft unvollständig ist, entstehen auch Kohlenmonoxid und andere Kohlenwasserstoffe. Zur Bildung von Distickstoffoxid und anderen Stickoxiden kommt es, wenn sich Kohlenstoff aus dem Brennstoff oder aus der Luft mit Luftsauerstoff verbindet. Schwefeloxide (SO_x) entstehen durch die Verbindung von Schwefel (hauptsächlich aus Kohle und Schweröl) mit Sauerstoff; die auf diese Weise gebildeten Sulfataerosole üben einen Abkühlungseffekt auf die Atmosphäre aus.

◆ **Auch bei der Gewinnung, Verarbeitung, Beförderung und Verteilung fossiler Brennstoffe entstehen Treibhausgase.** Diese Emissionen können beabsichtigt sein, zum Beispiel wenn Erdgas abgefackelt wird oder bei der Entlüftung von Ölbohrungen entweicht, wobei es sich hauptsächlich um Kohlendioxid bzw. Methan handelt. Sie können aber auch durch Unfälle, Wartungsmängel und undichte Stellen in Bohrlöchern, Rohrverbindungen und Pipelines verursacht werden. Das in Kohleschichten als Gaseinschluß oder in der Kohle selbst „gelöste“ natürliche Methan wird freigesetzt, wenn Kohle abgebaut oder zermahlen wird. Kohlenwasserstoffe gelangen aufgrund von Ölverschmutzung durch Öltanker oder durch kleine Verluste beim routinemäßigen Auftanken von Kraftfahrzeugen in die Atmosphäre.

◆ **Die zweitgrößte Quelle für Kohlendioxid ist die Entwaldung.** Wenn Wälder gerodet werden, um Platz für die Landwirtschaft oder neue Wohngebiete zu schaffen, entweicht der Großteil des in den verbrannten oder vermodernden Bäumen enthaltenen Kohlenstoffs in die Atmosphäre. Wenn hingegen neue Wälder angepflanzt werden, absorbieren die heranwachsenden Bäume Kohlendioxid und beseitigen es aus der Atmosphäre. Die seit einiger Zeit registrierte Negativbilanz zwischen Rodung und Aufforstung („Netto-Entwaldung“) betrifft in erster Linie die Tropen. Noch liegen nur wenige wissenschaftliche Erkenntnisse über die Emissionen durch Entwaldung vor, Schätzungen zufolge werden jedoch weltweit zwischen 600 Millionen und 2,6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff pro Jahr freigesetzt.



- ◆ **Die Erzeugung von Kalk (Kalziumoxid) für die Zementproduktion macht 2,5 Prozent der industriellen CO₂-Emissionen aus.** Wie das CO₂ aus fossilen Brennstoffen stammt das bei der Zementproduktion anfallende Kohlendioxid aus Kalkstein und ist daher ebenfalls fossilen Ursprungs, hauptsächlich aus Muscheln und anderer Biomasse, die in alten Meeresablagerungen vorhanden sind.

- ◆ **Haus- und Nutztiere geben Methan ab.** Methan, das zweitwichtigste Treibhausgas nach Kohlendioxid, wird von Rindern, Milchkühen, Büffeln, Ziegen, Schafen, Kamelen, Schweinen und Pferden produziert, größtenteils aufgrund der Vergärung des Futters durch Bakterien und andere Mikroben im Verdauungstrakt der Tiere; eine weitere Quelle ist verrottender Tierdung. Die Viehhaltung macht etwa ein Viertel der gesamten Methanemissionen aus, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind (rund 100 Millionen Tonnen jährlich).

- ◆ **Methan entsteht im Reisanbau ...** Ein Fünftel bis ein Viertel der weltweiten anthropogenen Methanemissionen entsteht in wasserbedeckten Reisfeldern. Über 90 Prozent der gesamten Reisproduktion stammt aus Kulturen, die den Großteil der Wachstumsperiode durch Überflutung oder Bewässerung unter Wasser stehen. Die Bakterien und anderen Mikroorganismen im Boden der Reisfelder zersetzen organische Substanzen und produzieren Methan.

- ◆ **... und bei der Entsorgung und Verarbeitung von Müll und anderen vom Menschen produzierten Abfallstoffen.** Müll, der als Landauffüllung in Müllgruben eingebracht wird, macht früher oder später einen anaeroben (ohne Sauerstoff vor sich gehenden) Zersetzungsprozeß durch, bei dem Methan (und etwas Kohlendioxid) entsteht. Wird das Gas nicht gefaßt und als Brennstoff verwertet, gelangt das Methan in die Atmosphäre. Diese Methanquelle ist hauptsächlich in der Umgebung von Städten zu finden, wo der Müll aus vielen Haushalten zentral gelagert wird. In ländlichen Gebieten ist dies eher selten; hier werden Abfälle meist verbrannt oder zur Verrottung im Freien gelagert. Methan entsteht ferner, wenn menschliche Abfälle (Abwasser) anaerob behandelt werden, etwa in anaeroben Becken oder Klärteichen.

- ◆ **Der Einsatz von Düngemitteln erhöht die Distickstoffoxidemissionen.** Der in vielen Düngern enthaltene Stickstoff fördert den natürlichen, von Bakterien und anderen Mikroben im Boden durchgeführten Nitrifikations- und Denitrifikationsprozeß. Dabei wird ein Teil des Stickstoffs in Distickstoffoxid umgewandelt. Wieviel N₂O jede dem Boden zugeführte Stickstoffeinheit abgibt, hängt von Art und Menge des Düngemittels, der Bodenbeschaffenheit und dem Klima ab – somit von einer komplizierten Gleichung, die noch nicht ausreichend bekannt ist.

- ◆ **Die Industrie hat eine Reihe von langlebigen und hochwirksamen Treibhausgasen für spezialisierte Anwendungen hervorgebracht.** Die erstmals in den zwanziger Jahren entwickelten FCKW werden eingesetzt als Treibgas in Sprühdosen, zur Herstellung von Schaumstoff für Kissen und andere Produkte, in den Kühlschlangen von Kühlschränken und Klimaanlage, als Feuerlöschsubstanzen und in Lösungsmitteln für Reinigungszwecke. Dank des Montrealer Protokolls über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, hat sich die Konzentration vieler FCKW in der Atmosphäre nahezu stabilisiert und wird in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich abnehmen. Andere halogenierte Kohlenwasserstoffe, die gegenwärtig als ozonschonende Ersatzsubstanzen anstelle von FCKW eingesetzt werden – insbesondere Hydrofluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) und Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) – tragen zur globalen Erwärmung bei und sollen daher gemäß dem 1997 verabschiedeten Protokoll von Kyoto ebenfalls reduziert werden. Das Protokoll sieht auch die Reduktion von Schwefelhexafluorid (SF₆) vor, das als Isoliermaterial bei elektrischen Anwendungen sowie als Hitzeleiter und Gefriermittel eingesetzt wird. Man schätzt, daß das Potential eines jeden SF₆-Moleküls zur Aufheizung der Atmosphäre 23 900 mal größer ist als das eines Kohlendioxid-Moleküls.

Die Begrenzung der Emissionen: Eine Herausforderung für politische Entscheidungsträger

◆ **Der Klimawandel wird wirtschaftliche Folgen haben.** Die verursachten Schäden und die Vorkehrungen der Menschen zur Anpassung an ein neues Klima werden sowohl quantifizierbare, marktwirtschaftliche Kosten als auch nicht quantifizierbare, nicht marktwirtschaftliche Kosten verursachen. Der Umstand, daß manche wichtige Schadenskategorien nur schwer beziffert werden können, ist einer der Gründe, warum eine Schadensabschätzung derzeit mit großer Unsicherheit behaftet ist.

◆ **Die Schäden werden ungleich verteilt und manchmal irreversibel sein.** Obwohl mehr als zwei Drittel der historischen Treibhausgasemissionen und rund 75 Prozent des derzeitigen Jahresausstoßes auf das Konto der entwickelten Länder gehen, sind diese dank ihrer starken Volkswirtschaften und Institutionen besser für Klimaänderungen gerüstet als andere Länder. Die Kosten, die die Entwicklungsländer jährlich zu tragen hätten, damit die weltweite CO₂-Konzentration das Doppelte der vorindustriellen Konzentration nicht übersteigt, könnten 1 bis 3 Prozent ihres kumulierten Bruttoinlandsprodukts (BIP) ausmachen. Für die entwickelten Länder wird der Anteil auf 2 bis 9 Prozent des BIP geschätzt. Hier ist erneut darauf zu verweisen, daß bei diesen Schätzungen nur die leicht zu beziffernden Schäden berücksichtigt sind und die effektiven Kosten wahrscheinlich erheblich höher liegen. Einige Studien haben einen „Gefährdungsindex“ (*vulnerability index*) erarbeitet, der deutlich macht, daß die Entwicklungsländer für die negativen Folgen des Klimawandels im Durchschnitt doppelt so anfällig sein werden wie die Industriestaaten; kleine Inselstaaten werden dreimal so stark betroffen sein.

◆ **Auch die politischen Maßnahmen zur Risikominimierung durch die Reduktion von Treibhausgasemissionen werden ihren Preis haben.** Die Schätzungen der Kosten dieser politischen Maßnahmen gehen allerdings weit auseinander. So erstreckt sich etwa die Bandbreite der Kostenschätzungen für die Stabilisierung der Emissionen in den entwickelten Ländern von -0,5 Prozent des BIP (was eine Nettoeinsparung von 60 Milliarden US-Dollar bedeuten würde) bis +2 Prozent (entsprechend einem Nettoverlust von 240 Milliarden US-Dollar). Die Kosten (und der potentielle Nutzen) von Anpassungsmaßnahmen sind noch schwerer abzuschätzen. Dennoch stehen den politischen Entscheidungsträgern sowohl hinsichtlich der Emissionsverringeringung als auch hinsichtlich der Anpassung viele Möglichkeiten zur Verfügung, das Schadensrisiko des Klimawandels möglichst gering zu halten und zugleich der Volkswirtschaft ihres Landes zu nützen.

◆ **Gewisse Schäden durch den vom Menschen verursachten Klimawandel scheinen unvermeidlich, doch können die politischen Entscheidungsträger versuchen, das Risiko zu begrenzen.** Das Klima der Erde hat sich im Verlauf natürlicher Zyklen, die Jahrzehnte bis Jahrtausende dauerten, immer wieder erwärmt und abgekühlt. Aufgrund dieser Zyklen und des anthropogenen Treibhauseffekts wird das Klima auch in Zukunft Schwankungen unterworfen sein. Die Risiken eines durch menschliche Einwirkung ausgelösten rapiden Klimawandels sind jedoch von ganz anderer Qualität als die jener Klimaschwankungen, die die Menschheit seit Anbeginn der Zivilisation erlebt. Die Klimakonvention ist nicht dazu gedacht, jeden vom Menschen verursachten Klimawandel für alle Zeiten zu verhindern, sondern ihn so gering wie möglich zu halten und den Prozeß zu verlangsamen, damit die Ökosysteme und die menschliche Gesellschaft Zeit haben, sich anzupassen.

◆ **Politische Maßnahmen zum Klimaschutz sollten als Teil der nachhaltigen Entwicklung angesehen werden.** Vorkehrungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel können sowohl der sozioökonomischen Entwicklung als auch dem Umweltschutz (etwa der Reduzie-



rung von städtischem „Smog“) zugute kommen. Klimaschutzstrategien sollten in jedem Land in die Entwicklungspläne für alle Wirtschaftssektoren aufgenommen werden.

◆ **Frühzeitiges Handeln zur Risikobegrenzung in Sachen Klimawandel kann sich in mehrfacher Hinsicht bezahlt machen.** Viele Forscher sind der Meinung, daß es möglich sein wird, die Schäden des Klimawandels und die Kosten der Anpassung zu reduzieren und gleichzeitig wirtschaftlichen Nutzen daraus zu ziehen, zum Beispiel durch kostensparende Energiesysteme und mehr technologische Innovation. Einige Klimaschutzmaßnahmen dienen gleichzeitig dem lokalen und regionalen Umweltschutz. Denken wir nur an die Verringerung der Luftverschmutzung und den erhöhten Schutz der Wälder und damit der Artenvielfalt. Die wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Literatur belegt, daß solche „no regrets“-Lösungen in den meisten Ländern möglich sind. Sie weist aber auch darauf hin, daß das Risiko bleibender Schäden sowie das Bestreben, Risiken zu vermeiden, und das Vorsorgeprinzip insgesamt Grund genug sein sollten für Maßnahmen, die über „no regrets“-Aktionen hinausgehen - also auch für Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen, die abgesehen vom Nutzen für den Klimaschutz reine Kosten verursachen.

◆ **Politische Entscheidungsträger sollten die Bedeutung der Gerechtigkeit nicht außer acht lassen.** Es ist nicht leicht, Maßnahmen zu finden, die sowohl kosteneffizient als auch fair sind. Die traditionelle Wirtschaftswissenschaft beschränkt sich auf die Formulierung flexibler und kostenwirksamer Konzepte; zum Thema Gerechtigkeit äußert sie sich nicht. Da die Länder durch den Klimawandel in unterschiedlicher Weise gefährdet sind, werden auch die Kosten für Schäden und Anpassung unterschiedlich sein, wenn nicht besondere Anstrengungen zur Umverteilung stattfinden. Die politischen Entscheidungsträger können gerechte Lösungen anstreben, indem sie den Aufbau von Kapazitäten in ärmeren Ländern fördern und ihre gemeinsamen Entscheidungen in glaubwürdiger und transparenter Weise treffen. Sie könnten außerdem finanzielle und institutionelle Mechanismen entwickeln, die das Risiko auf alle Länder verteilen.

◆ **Da sich einige Auswirkungen des Klimawandels erst in vielen Jahrzehnten bemerkbar machen werden, stellt sich auch die Frage des Ausgleichs zwischen den Generationen.** Zukünftige Generationen haben nicht die Möglichkeit, auf politische Entscheidungen, die heute getroffen werden, Einfluß zu nehmen. Hinzu kommt, daß es vielleicht nicht möglich sein wird, sie für eventuelle negative Auswirkungen auf ihr Wohlergehen und ihre Gesundheit zu entschädigen. Diese Überlegungen sollten in der heutigen Politik berücksichtigt werden.

◆ **Politische Konzepte können nur greifen, wenn sie durch die Öffentlichkeit und wichtige Interessengruppen unterstützt werden.** Die Regierungen können nicht allein die Emissionen reduzieren – sie brauchen dazu die Unterstützung jedes einzelnen, der Gemeinschaft und der Wirtschaft. Bildung und Öffentlichkeitsarbeit sind hier von größter Bedeutung. Zum Beispiel würde ein ausgeprägteres Energiebewußtsein die Menschen zu einer Reihe kleiner Verhaltensänderungen in ihrer persönlichen Lebensführung veranlassen wie z.B. der Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel, der Verwendung energiesparender Beleuchtung und Geräte und der Wiederverwendung von Stoffen zur Schonung natürlicher Ressourcen. Kommunale Behörden könnten daran gehen, die Gemeindestrukturen zu verändern, um die täglichen Fahrten zu verringern, indem sie Wohnungen in der Nähe von Geschäften und Büros errichten; ferner könnten sie Baunormen einführen, damit bei der Bauplanung das Sonnenlicht und die Sonnenwärme möglichst weitgehend ausgenutzt werden. Es sind noch viele andere Änderungen der verbrauchsintensiven Lebensgewohnheiten in den reichen Ländern denkbar.

◆ **Ein weiterer wichtiger Punkt ist die internationale Zusammenarbeit.** Es bestehen unterschiedliche Ansichten darüber, ob konkrete politische Konzepte und Maßnahmen weltweit koordiniert werden sollen: Die Befürworter meinen, daß Koordination Fairneß und Chancengleichheit für Unternehmer gewährleistet, während die Gegner den Standpunkt vertreten, daß flexible Lösungen der einzelnen Länder kosteneffizienter seien. Größere Einigkeit besteht hingegen darin, daß international vereinbarte Zielvorgaben und Zeitpläne für die Reduzierung der Emissionen sowie finanzielle und technologische Zusammenarbeit notwendig sind. Politische Entscheidungsträger müssen daher sowohl den nationalen Bedingungen als auch den internationalen Entwicklungen und Anliegen Rechnung tragen.

◆ **Die vernünftigste Reaktion auf den Klimawandel besteht in einem Maßnahmenkatalog zur Folgenminimierung, Anpassung und Forschung.** In der Wirtschaftsliteratur wird die Auffassung vertreten, daß die optimale politische Mischung zwangsläufig von Land zu Land verschieden und vom jeweiligen Zeitpunkt abhängig sein wird. Es geht nicht darum, daß sich alle Länder darauf einigen, was die beste Politik ist, und an dieser dann die nächsten 100 Jahre festhalten. Es sollte vielmehr jedes Land mit Umsicht eine Strategie wählen und sie im Laufe der Zeit neuen Informationen und geänderten Voraussetzungen entsprechend anpassen. Mit einem ausgewogenen Katalog politischer Optionen zur Reduzierung der Emissionen, zur Anpassung an den Klimawandel und zur Verbesserung des Wissensstandes können politische Entscheidungsträger in den einzelnen Ländern das Risiko eines raschen Klimawandels verringern und gleichzeitig die nachhaltige Entwicklung fördern.

Ausarbeitung kostenwirksamer Strategien

◆ **Die Kosten strategischer Klimaschutzmaßnahmen können durch „no regrets“-Strategien gering gehalten werden.** Solche Strategien sind für die Wirtschaft und die Umwelt sinnvoll, gleichgültig, ob der Welt nun ein rascher Klimawandel bevorsteht oder nicht. Bei allen Meinungsverschiedenheiten, die zwischen Wirtschaftsfachleuten bestehen, sind sich diese doch in einem weitgehend einig: daß die Energieausbeute in den kommenden zwei oder drei Jahrzehnten zu Nullkosten oder sogar mit einem Nettogewinn um 10 bis 30 Prozent gegenüber dem jetzigen Niveau gesteigert werden kann. Zur Reduzierung der Emissionen steht heute eine ganze Reihe technisch machbarer, kostengünstiger Lösungen und Maßnahmen zur Verfügung. Zum Beispiel führt eine verbesserte Energienutzung nicht nur zur Verringerung der Treibhausgasemissionen, sie steigert außerdem die Wettbewerbsfähigkeit der Industrien und Länder auf den Weltmärkten. Während „no regrets“-Maßnahmen sicherlich sinnvoll sind, rechtfertigen das Vorsorgeprinzip und die Höhe der vom Klimawandel zu erwartenden Netto-Schäden auch Maßnahmen, die über „no regrets“ hinausgehen.

◆ **Sofortiges Handeln mag manchmal teurer erscheinen als abzuwarten, doch können Verzögerungen größere Risiken und damit langfristig höhere Kosten mit sich bringen.**

Die Regierungen können sich entscheiden, ob sie die Reduzierung von Emissionen schrittweise oder schnell herbeiführen wollen. Bei dieser Entscheidung sind die wirtschaftlichen Kosten frühzeitiger Maßnahmen (einschließlich des Risikos, noch brauchbare Anlagen vorzeitig stillzulegen) gegen die entsprechenden Kosten erst später eingeleiteter Maßnahmen abzuwägen. Ein Risiko des Abwartens besteht darin, daß die derzeit verfügbaren Modelle emissionsintensiver Investitionsgüter für viele Jahre „einzementiert“ würden; wenn sich dann später herausstellt, daß eine raschere Reduktion der Emissionen notwendig ist, müssen diese Anlagen mit enormen Kosten vorzeitig stillgelegt werden. Wenn Bemühungen um die Verringerung des Schadstoffausstoßes früher unternommen werden, hat der Mensch auf längere Sicht mehr Gestaltungsspielraum bei der Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen.

◆ **In dieser Kostengleichung müssen viele Variablen berücksichtigt werden.** Die international vereinbarten Zeitpläne und Zielvorgaben für die Reduzierung der Emissionen, die globalen Bevölkerungs- und Wirtschaftstrends und die Entwicklung neuer Technologien werden alle eine Rolle spielen. Die politischen Entscheidungsträger werden außerdem die Wiederveranlagungsrate (abhängig von der natürlichen Lebensdauer von Investitionsgütern), die Bandbreite der Abzinsungsfaktoren, mit denen die Ökonomen heute den zukünftigen Nutzen bewerten (was Auswirkungen auf Investitionsentscheidungen hat) und die möglichen Reaktionen der Industrie und der Verbraucher auf den Klimawandel und auf die damit verbundenen politischen Maßnahmen zu berücksichtigen haben.

◆ **Bei vielen kosteneffizienten politischen Konzepten wird es darum gehen, geeignete wirtschaftliche und regulierende Signale an die nationalen Märkte zu senden.** Politische Maßnahmen zur Verringerung von Preisverzerrungen und Subventionen können die Effizienz der Märkte für Energie, Verkehr, Landwirtschaft u.a. Wirtschaftsbereiche steigern. Systematische und angemessene Signale fördern die Forschung und liefern Produzenten und Verbrauchern die Informationen, die sie zur Anpassung an zukünftige Beschränkungen der Treibhausgasemissionen benötigen. Wenn zum Beispiel politische Konzepte und Maßnahmen so früh einsetzen, daß Unternehmen ihre Anlagen ersetzen können, wenn deren natürliche Lebensdauer abläuft, werden die Kosten der Anpassung und vorsorglichen Folgenminimierung viel geringer sein, als wenn Firmen ihr eingesetztes Kapital nicht voll abschreiben können.



- ◆ **Mit wirtschaftlichen Anreizen können Investoren und Verbraucher beeinflusst werden.** Anreize können, wenn sie marktgerecht sind, oft flexibler und wirksamer sein als Vorschriften und Auflagen allein. Zum Beispiel können Verbraucher durch Pfandsysteme zur Rückgabe ihrer Autos und Geräte und zum Erwerb energiesparender Modelle ermutigt werden. Anhand von Technologie- und Leistungsnormen können Hersteller klimafreundlicher Produkte belohnt, andere benachteiligt werden. Zweckgebundene Subventionen, freiwillige Vereinbarungen in Verbindung mit Zielvorgaben und Direktinvestitionen des Staates sind ebenfalls eine kostengünstige Methode zur Einflußnahme auf das Verhalten sowohl der Konsumenten als auch der Hersteller.

- ◆ **Die Einführung oder Streichung von Steuern oder Subventionen kann Klimaschutzüberlegungen in die Preisgestaltung einfließen lassen.** Eine Besteuerung des Kohlenstoffgehalts von Öl, Kohle und Gas etwa ist geeignet, den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu senken und damit die Kohlendioxidemissionen zu reduzieren. Kohlenstoffsteuern werden bereits in mehreren Industriestaaten erprobt. Viele Wirtschaftsfachleute meinen, daß die CO₂-Emissionen durch Kohlenstoffsteuern mit minimalem Kostenaufwand verringert werden können; da jedoch Steuern dem einzelnen Bürger und Firmen hinsichtlich ihrer Reaktion freie Hand lassen, sind sie zur Erreichung bestimmter Emissions-Zielvorgaben weniger geeignet. Wenn eine solche Steuer ihren Zweck erfüllen soll, muß sie gut geplant und administriert werden. Eine Reihe von Wirtschaftsstudien zeigt, daß solche Steuern, wenn sie aufkommensneutral sind und investitions- und beschäftigungshemmende Steuern ersetzen, wirtschaftlich erhebliche Netto-Vorteile bringen können. Diese Steuern sind zwar in der Regel eher regressiv und haben zur Folge, daß Haushalte mit geringerem Einkommen einen höheren Einkommensanteil für ihre Energierechnung ausgeben müssen, doch kann dieser negative Effekt durch die Anpassung anderer Steuern und durch Ausgleichszahlungen kompensiert werden.

- ◆ **Handelbare Emissionsgenehmigungen sind ebenfalls ein kosteneffizienter und marktorientierter Lösungsansatz.** Diese Genehmigungen funktionieren folgendermaßen: Eine Regierung legt fest, wie viele Tonnen eines bestimmten Gases jedes Jahr freigesetzt werden dürfen. Dann teilt sie diese Menge auf eine bestimmte Anzahl handelbarer Emissionsberechtigungen auf – als Maßeinheit könnten etwa CO₂-Äquivalent-Tonnen dienen – und vergibt oder verkauft sie an einzelne Firmen. Damit erhält jede Firma eine Quote von Treibhausgasen, die sie emittieren darf. Dann kommt der Markt ins Spiel. Diejenigen Treibhausgas-Verursacher, die ihre Emissionen mit relativ geringem Aufwand reduzieren können, werden dies aus Rentabilitätsgründen tun und ihre Genehmigungen an andere Firmen verkaufen. Firmen, die ihre Emissionen nur unter hohen Kosten reduzieren können, werden es vielleicht vorziehen, Genehmigungen zuzukaufen. Diese Methode wird in den Vereinigten Staaten bereits bei einigen Schadstoffen, die keine Treibhausgase sind, praktiziert. Das 1997 verabschiedete Protokoll von Kyoto enthält Vorgaben für den internationalen Handel mit Genehmigungen für Treibhausgasemissionen zwischen entwickelten Ländern; die Einzelheiten dieses Systems müssen allerdings noch ausgearbeitet werden.

Neue Energietechnologien und energiepolitische Maßnahmen

◆ **Die Erzeugung und der Einsatz von Energie sind die Hauptursache für die Treibhausgasemissionen der Menschheit.** Bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas entstehen rund drei Viertel sämtlicher Kohlendioxidemissionen, das sind nahezu sechs Milliarden Tonnen Kohlenstoff jährlich (Stand 1992). Bei der Gewinnung und Verwendung fossiler Brennstoffe fallen fast ein Fünftel aller vom Menschen verursachten Methanemissionen, geringe Mengen Kohlendioxid und große Mengen Kohlenmonoxid und anderer Luftschadstoffe an. Aus der Industrie stammt mehr als ein Drittel der weltweiten CO₂-Emissionen, die auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe (ohne Stromerzeugung) zurückzuführen sind; Haushalte und Handel tragen 32 Prozent bei, der Verkehr etwas mehr als 21 Prozent (Tendenz rasch steigend). Diese energiebezogenen Emissionen könnten durch eine Kombination von neuen Technologien und politischen Maßnahmen erheblich reduziert werden.

◆ **Leckagen und sonstige Austritte bei der Förderung und dem Transport fossiler Brennstoffe können verringert werden.** Neue „integrierte Rückgewinnungs-Techniken“ können - verglichen mit den heute üblichen Methoden - die Methanemissionen aus Kohlegruben um 80 bis 90 Prozent senken. Es stehen bereits Technologien zur Verfügung, die die Methanemissionen aus Erdgas-Verteilungssystemen um bis zu 80 Prozent (im weltweiten Durchschnitt) reduzieren. Auf Ölfeldern, wo Erdgas abgefackelt oder in die Luft geblasen wird, da sich sein Verkauf nicht lohnt, kann mit kleinen Stromgeneratoren elektrischer Strom zur örtlichen Verwendung erzeugt werden, oder das Gas kann, verdichtet oder konvertiert, im Verkehr oder in nahegelegenen Industriebetrieben eingesetzt werden. Mit diesen und anderen Technologien könnten Emissionen durch Verflüchtungsverluste bei der Energieförderung und beim Transport von Brennstoffen insgesamt um 50 bis 90 Prozent gesenkt werden.

◆ **Mit Maßnahmen der Steuer- und Abgabenpolitik kann die frühzeitige Einführung neuer Technologien gefördert werden.** Bis zum Jahr 2100 wird das gesamte Anlagevermögen der derzeit auf dem Globus kommerziell genutzten Energieanlagen mindestens zweimal erneuert werden. Durch Anreize für Investitionen in kostengünstigere und energiesparendere Technologien könnten bei dieser Erneuerung die Möglichkeiten zur Emissionsreduzierung bestmöglich genutzt werden. Mit der Besteuerung von Emissionen bzw. des Kohlenstoffgehalts von Brennstoffen können Investitionen in emissionsärmere Technologien umgeleitet werden. Wirtschaftswissenschaftler schätzen, daß die schrittweise Zurücknahme der weltweiten Subventionen für fossile Brennstoffe eine Reduzierung der globalen Emissionen um 4 bis 18 Prozent bei gleichzeitiger Steigerung der Realeinkommen bewirken würde.

◆ **Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung in den Elektrizitätswerken kann gesteigert werden.** Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung, der im weltweiten Durchschnitt bei 30 Prozent liegt, könnte langfristig mehr als verdoppelt werden. Die besten verfügbaren Kohle- und Erdgaskraftwerke wandeln den Brennstoff schon heute mit einem Wirkungsgrad von 45 Prozent bzw. 52 Prozent in nutzbare Energie um. Eine vielversprechende neue Technologie sind kombinierte Umlauf-Kraftwerke, in denen die vom Brennstoff abgegebene Hitze Dampfturbinen und die Wärmeexpansion der Abgase Gasturbinen antreibt. Eine weitere Technik ist die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom, mit der die Ausbeute an nutzbarer Energie auf rund 80 bis 90 Prozent der im Brennstoff enthaltenen Wärmeenergie gesteigert werden könnte; das ist erheblich mehr, als bei getrennter Strom- bzw. Wärmeerzeugung produziert werden kann, allerdings müßten



in der Umgebung Abnehmer von Kühlungs- oder Wärmeenergie vorhanden sein. Eine Steigerung des Wirkungsgrades eines typischen Kohlekraftwerks von 40 auf 41 Prozent würde die CO₂-Emissionen des Kraftwerks um 2,5 Prozent reduzieren.

◆ **Die Emissionen von Kraftwerken können auch durch den Umstieg von Kohle auf weniger kohlenstoffhaltige Brennstoffe verringert werden.** Der Umstieg von Kohle auf Erdgas kann die Emissionen um 40 bis 50 Prozent senken. (Dem steht allerdings entgegen, daß die geschätzten Kohlereserven bedeutend größer sind als die Erdgasvorkommen.) Der wirksame Einsatz von Biomasse in kombinierten Dampf- und Gasturbinensystemen ist ebenfalls geeignet, den Schadstoffausstoß zu verringern; diese Systeme haben sich in einigen Entwicklungsregionen für bestimmte Zellstoff-, Papier- und landwirtschaftliche Anwendungen als durchaus rentabel erwiesen. Auch Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Wind, Sonnenenergie und kleine Wasserkraftwerke können die Emissionen reduzieren; ein weiterer Vorteil ist die flexiblere Stromverteilung ohne Einspeisung in das Stromnetz.

◆ **In der Industrie kann der hohe Energieverbrauch bei gleichzeitiger Senkung der Produktionskosten weiter verringert werden.** In den letzten zwei Jahrzehnten kam es in den Industriestaaten dank der Trendwende in der Technologie und des Strukturwandels in der Wirtschaft zu einem Rückgang bzw. zur Stabilisierung der Emissionen aus fossilen Brennstoffen. Diesen Ländern gelang es, die industriellen CO₂-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 25 Prozent und mehr zu senken, indem einfach bestehende Anlagen und Verfahren durch die leistungsfähigsten derzeit verfügbaren Techniken ersetzt wurden. Wenn diese Umrüstung zum Zeitpunkt der ohnehin fälligen Erneuerung der Anlagen stattfindet, ist dies eine kostensparende Methode zur Reduzierung der Industrieemissionen. Weltweit ist davon auszugehen, daß der Schadstoffausstoß der Industrie mit fortschreitender Industrialisierung der Entwicklungsländer massiv ansteigen wird; dieser Anstieg kann nur dann gebremst werden, wenn sie Zugang zu den effizientesten Technologien haben, die derzeit verfügbar sind.

◆ **In Wohn- und Bürohäusern können energiesparende Technologien eingesetzt werden.** Für viele Ausrüstungsgüter, die heute in Gebäuden eingesetzt werden, gibt es bereits Technologien, die sich in fünf Jahren oder weniger amortisieren. Im Vergleich zum Ausgangsszenario (demzufolge die Energieausbeute ohne bewußte Klimaschutzmaßnahmen schrittweise gesteigert wird) könnte es mit diesen Technologien gelingen, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2010 um 20 Prozent, bis 2020 um 25 Prozent und bis 2050 um bis zu 40 Prozent zu senken. Mit marktgerechten Programmen, die Verbrauchern oder Herstellern technische Unterstützung oder finanzielle Anreize bieten, können Gebäude energiesparender konzipiert und betrieben werden. Weitere Möglichkeiten sind zwingende oder freiwillige Energiesparnormen, staatliche und private Forschung zur Entwicklung energiesparender Produkte sowie Informations- und Ausbildungsprogramme. Eine Kombination von Vorschriften, Information und Anreizen könnte der beste Weg sein, um die Energienutzung in diesen Bereichen zu optimieren.

◆ **Nicht nur steuerpolitische Maßnahmen können emissionsarme Technologien fördern.** Die Verbreitung neuer Technologien und Praktiken wird oft durch kulturelle, institutionelle, rechtliche, finanzielle und wirtschaftliche Zwänge und durch Informationsdefizite behindert. Der Staat kann durch politische Vorgaben dazu beitragen, einige dieser Hindernisse zu beseitigen. So können dem Konsumenten etwa durch Information und Produktauszeichnung die Konsequenzen seiner Kaufentscheidung bewußt gemacht werden. Die Regierungen können ferner unter genauen Zielvorgaben Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte für Technologien fördern, die geeignet sind, die Emissionen zu reduzieren und die Effizienz zu verbessern. Die Regierungen sollten zwar vermeiden, Technologie-„Gewinner“ zu bevorzugen, sie können aber eine wichtige Rolle bei der Beseitigung der Hindernisse für Innovatoren spielen und ein ausgewogenes nationales Paket an Energielösungen und Forschungsprogrammen fördern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Emissionsobergrenzen festzulegen, ergänzt durch handelbare Emissionsgenehmigungen, die von Firmen gekauft und verkauft werden können.

◆ **In den nächsten 50 bis 100 Jahren können die Treibhausgasemissionen aus fossilen Brennstoffen entscheidend reduziert werden.** Ein „Gedankenexperiment“ ausgehend von mehreren Szenarios für ein *Low CO₂-Emitting Energy Supply System (LESS)* (Energieversorgungssystem mit niedrigen CO₂-Emissionen) hat ergeben, daß anhand heutiger und zu erwartender Technologien die weltweiten CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen von rund 6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff im Jahr 1990 bis zum Jahr 2050 auf rund 4 Milliarden Tonnen und bis 2100 auf 2 Milliarden Tonnen jährlich gesenkt werden können. Technologische Innovationen und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energiequellen, vor allem von Biomasse, sind zur Erreichung dieser Zielvorgaben von größter Bedeutung; einige Länder könnten auch auf Kernenergie setzen. Da viele verschiedene Kombinationen dieser Technologien möglich sind, könnte dieses zukünftige Energieversorgungssystem variabel gestaltet werden. Vorläufig müssen jedoch die Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen auch weiterhin auf die Verbesserung der Energieausbeute ausgerichtet sein, da mit Sicherheit anzunehmen ist, daß der weltweite Energiebedarf weiter steigen wird.

Neue Verkehrstechnologien und verkehrspolitische Maßnahmen

◆ **Der Verkehrssektor ist eine wichtige und rasch wachsende Quelle von Treibhausgasemissionen.** Die Verbrennung fossiler Brennstoffe in Fahrzeugen und Verkehrsausrüstungen war 1990 für rund ein Fünftel der weltweiten Kohlendioxidemissionen verantwortlich. Von 1973 bis 1990 stieg der weltweite Treibstoffverbrauch im Verkehrswesen um 50 Prozent, was weitgehend auf gestiegene Einkommen und stabile oder sinkende Treibstoffpreise zurückzuführen war. Ohne neue Maßnahmen zur Verlangsamung des Emissionsanstiegs ist damit zu rechnen, daß der Verbrauch an fossilen Brennstoffen für Verkehrszwecke bis zum Jahr 2025 um weitere 35 bis 130 Prozent steigen wird. Der Verkehr trägt durch seine Emissionen von Kohlenmonoxid, Blei, Schwefeloxiden (SO_x) und Stickoxiden (NO_x) auch zu örtlichen und regionalen Luftverschmutzungsproblemen bei.

◆ **Innerhalb des Verkehrssektors verbrauchen Kraftfahrzeuge am meisten Benzin und bilden die größte Quelle für Kohlendioxidemissionen.** Die Industriestaaten weisen die höchste Pro-Kopf-Anzahl von Privatautos auf; zwar verfügen die Entwicklungsländer nur über knapp 10 Prozent der Autos der Welt, doch wird dort die höchste Wachstumsrate im Autoverkehr erwartet.

◆ **Neue Technologien können den Wirkungsgrad der Kraftfahrzeuge erhöhen und die Emissionen pro gefahrenem Kilometer verringern.** Neue Materialien und Bauweisen können die Masse eines Fahrzeugs reduzieren und seine Energieumwandlungsrate erhöhen, wodurch der zu seiner Bewegung erforderliche Energiebedarf gesenkt wird. Mit verbesserter Getriebebauweise können die Motoren näher an ihren optimalen Geschwindigkeits- und Lastbedingungen betrieben werden. Technische Verbesserungen in der Verbrennungsmotoren-Technologie und den Kraftstoffmischungen tragen bereits dazu bei, die Emissionen von Treibhausgasen und konventionellen Schadstoffen pro Fahrzeug zu verringern. Der Energieverbrauch dieser Motoren kann wahrscheinlich mit vorhandener Technologie um weitere 15 bis 30 Prozent gesenkt werden. Noch einschneidendere Verbesserungen könnten zum Beispiel durch Hybridfahrzeuge erzielt werden, die mit einer Kombination aus Benzinmotoren und elektrischen Motoren betrieben werden.

◆ **Kohlendioxidemissionen können auch durch die Umstellung auf Kraftstoffe mit geringerem Kohlenstoffgehalt gesenkt werden.** In vielen Ländern wurde bereits demonstriert, daß Fahrzeuge nicht nur mit Benzin betrieben werden können. Alternative Treibstoffe sind etwa komprimiertes Erdgas, Ethanol, Methanol und elektrischer Strom aus nicht fossilen Energieträgern. Kompressionsgas kommt schon seit einiger Zeit in den Vereinigten Staaten, Europa und Neuseeland erfolgreich in Fahrzeugflotten zum Einsatz. Brasilien hat ein Förderungsprogramm für Autos, die mit Ethanol aus Zuckerrohr und anderer Biomasse betrieben werden. Solche Programme können zum einen eine schnelle Verbesserung der örtlichen Luftqualität herbeiführen und sich auf längere Sicht auch günstig auf das Weltklima auswirken.

◆ **Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie werden immer wettbewerbsfähiger.** Erneuerbare Energie könnte eines Tages kostengünstige Alternativen zu Treibstoffen auf Erdölbasis bieten. Mit elektrischem Strom aus Wasserkraft-, Sonnenenergie- und Windkraftsystemen sowie Wasserstoff-Brennstoffzellen können Menschen und Güter praktisch ohne Freisetzung von Treibhausgasen befördert werden. Bei der Verfeuerung flüssiger Brennstoffe aus nachwachsender Biomasse entsteht zwar Kohlenstoff, doch wird beim Wachstum der zur Produktion neuer Biomasse angebaute Pflanzen eine ebenso große Menge Kohlenstoff aufgenommen. Der Einsatz erneuerbarer Brennstoffe im Verkehrswesen kann zur Minimierung



neuer CO₂-Emissionen beitragen und den Menschen gleichzeitig das von ihnen gewünschte Maß an individueller Mobilität sichern.

◆ **Emissionen können durch Änderungen in den Wartungs- und Betriebspraktiken weiter gesenkt werden.** Viele Fahrzeuge werden nicht ordnungsgemäß gewartet, teils aus Kostengründen, teils mangels örtlicher Verfügbarkeit von Ersatzteilen. In manchen Gebieten legen Fahrer und Autobesitzer einfach wenig Wert auf die Wartung ihres Fahrzeugs. Studien jüngeren Datums weisen darauf hin, daß der Durchschnittsverbrauch eines Fahrzeugs um 2 bis 10 Prozent gesenkt werden kann, wenn der Motor regelmäßig eingestellt wird.

◆ **Politische Maßnahmen zur Verhinderung von Staus im Straßenverkehr können Emissionen und Kosten senken.** Der Energieverbrauch im Verkehr und die Stauhäufigkeit auf den Straßen stehen in engem Zusammenhang mit der durchschnittlichen Anzahl der Fahrzeuginsassen. Computergestützte Leitsysteme für Lastkraftwagen helfen Geld und Treibstoff sparen, indem sie die Nutzlast optimieren und die Fahrzeiten minimieren; einige Studien zeigen, daß es technisch bereits möglich ist, den Energieverbrauch pro Tonne und Kilometer um 25 bis 30 Prozent zu senken. Ebenso haben Maßnahmen zur Verbesserung der allgemeinen Verkehrsüberwachung und zur Beschränkung des Kraftfahrzeugverkehrs den Energieverbrauch in manchen Bereichen um 20 bis 40 Prozent reduziert.

◆ **Stadtplaner können den abgasarmen Verkehr fördern.** Wenn es gelingt, die Menschen zum Umstieg vom Auto auf öffentliche Verkehrsmittel zu bewegen, können pro Fahrgast, Sitz und Kilometer 30 bis 70 Prozent Primärenergie eingespart werden. Wenn diese Überzeugungsarbeit Erfolg haben soll, müssen sichere und verlässliche öffentliche Verkehrssysteme zur Verfügung stehen. Die Städte können auch dazu beitragen, daß mehr Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden und Fahrgemeinschaften entstehen, indem sie bestimmte Straßen für Autos sperren, die Parkgebühren erhöhen, Straßen zu Fahrradwegen umwidmen bzw. die Zufahrt nur für Busse oder, in den Hauptverkehrszeiten, für „voll besetzte“ Fahrzeuge gestatten. Die Einführung computergestützter Ampelsteuerungssysteme, die verstärkte Anbringung von Hinweisschildern und eine verbesserte Gestaltung des Straßennetzes, vor allem im städtischen Bereich mit hohem Verkehrsaufkommen während der Spitzenzeiten, können ebenfalls für eine bessere Energienutzung sorgen. Kurzfristig hat die Stadtplanung in rasch wachsenden Städten, in denen es noch wenig Individualverkehr gibt, die größten Gestaltungsmöglichkeiten in bezug auf die Beeinflussung des Verkehrs.

◆ **Strategien zur Reduzierung der Luftraumüberlastung können Emissionen reduzieren und gleichzeitig für mehr Sicherheit sorgen.** Im Flugverkehr wird derzeit versucht, den Kraftstoffverbrauch und andere Betriebskosten der Flugzeuge zu senken. Trotzdem sind viele Flughäfen überlastet, was an vielen Zielorten zu zeitraubenden Warteschleifen führt und höhere Abgase als nötig verursacht. Fortschritte bei den Buchungssystemen, politische Maßnahmen zur Erhöhung der Flugzeugauslastung und Bemühungen zur Verhinderung gleichzeitiger, schlecht ausgelasteter Flüge auf denselben Routen könnten die Verkehrsdichte in der Luft weiter verringern, Landeverzögerungen auf ein Mindestmaß beschränken und die Luftverschmutzung reduzieren. Zusätzliche Abgaben auf Flugbenzin könnten ebenfalls zu einer besseren Energieauslastung beitragen.

◆ **Politische Maßnahmen zur rascheren Erneuerung von Wagenparks und Flugzeugflotten könnten sich als schnellste Methode zur kurzfristigen Reduzierung der Emissions-Wachstumsrate erweisen.** Das gilt vor allem für die entwickelten Länder, in denen große Wagenparks mit vielen Fahrzeugen älteren Baujahrs vorhanden sind. Es könnten finanzielle Anreize zur Außerdienststellung älterer Fahrzeuge und Flugzeuge geboten werden, die den geltenden nationalen Emissionsnormen nicht mehr entsprechen, oder es könnten abhängig vom Energieverbrauch eines Fahrzeugs geringfügige „Umweltabgaben“ erhoben werden. Energiesparnormen für Kraftfahrzeuge und Flugzeuge sind längerfristig zur Verringerung des verkehrsbedingten Energieverbrauchs unerlässlich; sie betreffen allerdings nur die neuesten Fahrzeuge.

◆ **Die geeignete Mischung von politischen Maßnahmen wird von Stadt zu Stadt und von Land zu Land verschieden sein.** Außerdem kann es Jahre, ja Jahrzehnte dauern, bis Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen im Verkehrsbereich ihre volle Wirkung zeigen. Wenn jedoch klimaschonende verkehrspolitische Maßnahmen mit Bedacht umgesetzt werden, können sie eine wichtige Rolle zur Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung spielen und gleichzeitig die örtlichen Kosten von Verkehrsüberlastung, Verkehrsunfällen und Luftverschmutzung minimieren.

Neue Wege in der Land- und Forstwirtschaft

◆ **Land- und Forstwirtschaft sind wichtige Quellen von Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid.** Die Wälder der Welt enthalten riesige Mengen Kohlenstoff. Manche Wälder wirken als „Senken“, indem sie Kohlenstoff aus der Luft aufnehmen, während Wälder mit ausgeglichenem Kohlenstoffkreislauf die Wirkung von „Speichern“ haben. Auf globaler Ebene sind die Wälder durch Rodung und Änderungen in der Landnutzung eine Netto-Quelle von Kohlendioxid. Was die Landwirtschaft betrifft, so trägt sie rund 20 Prozent zu dem vom Menschen verursachten Treibhauseffekt bei. Intensive landwirtschaftliche Nutzungen wie Viehzucht, Reisanbau in Naßkultur und der Einsatz von Düngemitteln verursachen 50 Prozent des durch Aktivitäten des Menschen entstehenden Methans und 70 Prozent unserer Distickstoffoxide. Wir sind in der glücklichen Lage, daß die Netto-Emissionen der Land- und Forstwirtschaft heute durch Maßnahmen und Technologien erheblich reduziert werden könnten - die überdies in vielen Fällen die Produktionskosten senken, die Erträge steigern oder andere sozioökonomische Vorteile mit sich bringen.

◆ **Wälder brauchen besseren Schutz und konsequentere Bewirtschaftung, wenn ihre Kohlendioxidemissionen sinken sollen.** Schutzgebiete spielen hier zwar eine Rolle, doch sollten gegen die Entwaldung auch politische Schritte unternommen werden, die den wirtschaftlichen Druck auf bestehende Waldflächen minimieren. Ein erheblicher Teil der Waldzerstörung und -schädigung ist auf das Vorrücken von Ackerbau und Weidewirtschaft zurückzuführen. Weitere Ursachen sind die Nachfrage nach Nutzholz und der örtliche Bedarf an Brennholz und anderen Ressourcen des Waldes für das tägliche Leben. Dieser Druck kann verringert werden durch die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität, die Verlangsamung des Bevölkerungswachstums, die Einbeziehung der örtlichen Bevölkerung in die nachhaltige Waldbewirtschaftung, politische Maßnahmen, um sicherzustellen, daß die Gewinnung von Nutzholz den Waldbestand nicht gefährdet, sowie durch die Auseinandersetzung mit den sozioökonomischen und politischen Zwängen, die für das Vordringen des Menschen in Waldgebiete verantwortlich sind.

◆ **Der in den Bäumen, der Pflanzendecke, den Böden und haltbaren Holzprodukten gespeicherte Kohlenstoff kann durch „Speichermanagement“ maximiert werden.** Wenn Sekundärwälder und geschädigtes Land geschützt werden, regenerieren sie sich in der Regel von selbst und beginnen, beträchtliche Mengen Kohlenstoff zu absorbieren. Ihr Boden kann weiteren Kohlenstoff aufnehmen, wenn er - etwa mit Düngemitteln - bewußt angereichert wird, und es können neue Bäume gepflanzt werden. Die Menge des in Holzprodukten gebundenen Kohlenstoffs kann erhöht werden, wenn die Produkte für eine möglichst lange Lebensdauer ausgelegt werden - die vielleicht sogar die übliche Lebensdauer der Holzgewächse übertrifft .

◆ **Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung kann Waldbiomasse als erneuerbare Ressource schaffen.** Teile dieser Biomasse können fossile Brennstoffe ersetzen; diese Lösung hat auf längere Sicht ein größeres Potential zur Reduzierung der Netto-Emissionen als die Anpflanzung von Bäumen zur Speicherung von Kohlenstoff. Das Anlegen von Wäldern auf geschädigtem oder nicht bewaldetem Land erhöht die Kohlenstoffmenge, die in Bäumen und Böden gespeichert wird. Die schonende Nutzung von Brennholz an Stelle von Kohle oder Erdöl kann zum Schutz des Kohlenstoffspeichers beitragen, der in den nicht benötigten, im Boden verbliebenen fossilen Brennstoffen enthalten ist.

◆ **Landwirtschaftliche Böden sind eine Netto-Quelle von Kohlendioxid - doch sie können zu Netto-Senken werden.** 400 bis 800 Millionen Tonnen Kohlenstoff könnten jedes Jahr



von landwirtschaftlichen Böden aufgenommen werden, wenn die Bewirtschaftungsmethoden zur Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität verbessert werden. „Low-tech“-Strategien sind etwa Kompostierung und schonungsvolles Pflügen oder der Verzicht auf Pflügen, da Kohlenstoff leichter aus umgeackertem oder brachliegendem Boden entweicht. In den Tropen kann der Kohlenstoffgehalt des Bodens erhöht werden, indem ihm mehr Ernterückstände zugeführt, Ackerbauaktivitäten auf das ganze Jahr ausgedehnt und die Zeiten verkürzt werden, in denen die Felder brachliegen. In semiariden Gebieten besteht die Möglichkeit, die Sommerbrache durch verbessertes Wassermanagement oder durch die Einführung winterharter Futterpflanzen zu verkürzen (was außerdem den Vorteil hätte, daß nicht gepflügt werden muß). In den gemäßigten Regionen ließe sich der Kohlenstoffgehalt des Bodens durch verstärkten Einsatz von tierischem Dünger erhöhen. Eine jüngst vorgestellte Studie kommt zu dem Schluß, daß die landwirtschaftlichen Böden in den Vereinigten Staaten von einer Netto-Quelle von geschätzten 200 Millionen Tonnen Kohlenstoff jährlich allein durch vermindertes Umackern bis zum Jahr 2020 zu einer Netto-Senke von 200 bis 300 Millionen Tonnen werden könnten, wobei für einige Anbaupflanzen auch noch gesteigerte Erträge zu erwarten wären.

◆ **Die Methanemissionen in der Viehzucht könnten durch neue Futtermischungen verringert werden.**

Rinder und Büffel verursachen schätzungsweise 80 Prozent der weltweiten jährlichen Methanemissionen in der Viehzucht. Mit Zusätzen kann einerseits der Nährwert des Futters verbessert und das Wachstum der Tiere gefördert und andererseits der Netto-Methan-Ausstoß pro erzeugter Rindfleisch-Einheit um 5 bis 15 Prozent gesenkt werden. Im Rahmen landwirtschaftlicher Entwicklungsprojekte in Indien und Kenia wurden Futtermischungen für Milchkühe mit Vitaminen und Mineralstoffen angereichert, was zu einer spürbaren Steigerung der Milchproduktion und einer Senkung der Methanemissionen führte. Laborversuche mit Rinder-Somatotropin, einem Wachstumshormon für Kühe, ergaben ebenfalls eine höhere Milchausbeute bei gleichzeitiger Reduzierung der Methanemissionen um bis zu 9 Prozent.

◆ **Das in den unter Wasser stehenden Reisfeldern entstehende Methan kann durch Änderungen in der Bewässerung und durch Düngung erheblich reduziert werden.**

Rund 50 Prozent der gesamten Reisanbauflächen werden bewässert. Die heutigen Reisbauern können die Be- und Entwässerung ihrer Reisfelder in nur etwa einem Drittel der weltweit zum Reisanbau genutzten Flächen regeln, und ständig unter Wasser stehende Systeme geben mehr Methan ab. Jüngste Versuche zeigen, daß die Entwässerung eines Feldes zu bestimmten Zeiten des Wachstumszyklus die Methanemissionen um bis zu 50 Prozent verringert, ohne den Reisertrag zu schmälern. Weitere technische Möglichkeiten zur Reduzierung der Methanemissionen sind die Zugabe von Natriumsulfat oder Kalziumkarbid zu den derzeit üblichen Düngern auf Harnstoffbasis, oder überhaupt der Ersatz von Harnstoff durch Ammoniumsulfat als Stickstofflieferant für die Reispflanzen.

◆ **Distickstoffoxidemissionen in der Landwirtschaft können mit neuen Düngemitteln und Methoden auf ein Minimum reduziert werden.**

Bei der Bodendüngung mit anorganischem Stickstoff und tierischem Dünger wird N_2O in die Atmosphäre abgegeben. Wenn man die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen verbessert, kann der Stickstoffeinsatz pro erzeugter Nahrungsmittelseinheit reduziert werden. Andere Strategien bestehen darin, die durch den Einsatz von Düngemitteln entstehenden Distickstoffoxidemengen und damit das aus dem landwirtschaftlichen System in die Atmosphäre gelangende N_2O möglichst gering zu halten. Eine Möglichkeit wäre, Zeitpunkt und Menge der Stickstoffgaben genau auf die Bedürfnisse der Pflanze abzustimmen. Eine weitere Möglichkeit besteht in neuen Düngemethoden, etwa Düngemittel und -systeme mit kontrollierter Wirkstoff-Freigabe, die den Dünger über die Blätter an die Wurzeln abgeben, und nicht über den Boden (wo der Großteil der Distickstoffoxidproduktion stattfindet). Die Wechselwirkungen zwischen Dünger, Boden und Klimabedingungen können auch durch Optimierung der Bodenbearbeitungs-, Bewässerungs- und Entwässerungssysteme beeinflusst werden.

Finanzierung der in der Konvention vorgesehenen Maßnahmen

◆ **Entwicklungsländer brauchen die entsprechenden finanziellen Mittel, um die Ursachen und Folgen des Klimawandels bewältigen zu können.** In der Klimakonvention ist daher festgelegt, daß die entwickelten Länder „neue und zusätzliche“ Mittel bereitstellen, um die Entwicklungsländer bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen aus der Konvention zu unterstützen. Diese Unterstützung kann von bilateralen Geldgebern, aus multilateralen Quellen oder aus der Privatwirtschaft kommen.

◆ **Der „Finanzierungsmechanismus“ der Konvention ist eine wichtige Finanzierungsquelle.** Seine Aufgabe ist es, Geldmittel und Technologie in Form nicht rückzahlbarer Zuschüsse oder zu Vorzugsbedingungen in Entwicklungs- und Reformländer zu transferieren. Der Mechanismus steht unter der Aufsicht der Konferenz der Vertragsparteien (COP) und ist dieser gegenüber rechenschaftspflichtig. Die Konferenz entscheidet über seine politischen Richtlinien, seine Programmschwerpunkte und die Zuteilungskriterien. In der Konvention heißt es, daß die Aufgaben des Finanzierungsmechanismus einer oder mehreren internationalen Einrichtungen übertragen werden können, wobei für eine „gerechte und ausgewogene Vertretung aller Vertragsparteien mit einer transparenten Leitungsstruktur“ zu sorgen ist. Die COP hat diese Aufgabe der Globalen Umweltfazilität (GEF) übertragen.

◆ **Die Globale Umweltfazilität (GEF) wurde 1990, vor Beginn der Verhandlungen über die Klimakonvention, geschaffen.** Der Gedanke eines internationalen Mechanismus zur Unterstützung von Projekten, die der globalen Umwelt zugute kommen, wurde erstmals 1987 in der Brundtland-Kommission erörtert. Die GEF wurde einige Jahre später ins Leben gerufen; umgesetzt wird sie von der Weltbank, dem Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP). Auf dem Umweltgipfel 1992 wurde die GEF als mögliche Geldquelle für die Durchführung des Übereinkommens über die Artenvielfalt und der Klimakonvention angesehen.

◆ **Die GEF übernimmt die „vereinbarten vollen zusätzlichen Kosten“ globaler Umweltschutzprojekte.** Die von der Fazilität bereitgestellten Mittel ergänzen die normale Entwicklungshilfe und geben Entwicklungsländern damit die Möglichkeit, in ihre Entwicklungsprogramme umweltfreundliche Maßnahmen aufzunehmen, die weltweiten Umweltanliegen Rechnung tragen. Wenn zum Beispiel ein Land im Interesse der wirtschaftlichen Entwicklung in ein neues Kraftwerk investiert, kann die GEF für den Ankauf von Einrichtungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zusätzliche Mittel zur Verfügung stellen. Somit übernimmt die GEF in der Regel nur einen Teil der Gesamtkosten eines Projekts.

◆ **Die verfügbaren Mittel stammen aus freiwilligen Beiträgen von Regierungen.** In der „Versuchsphase“ von 1991 bis 1994 zahlten die teilnehmenden Regierungen rund 800 Millionen US-Dollar in den GEF-Treuhandfonds ein. Die Fazilität wurde später umstrukturiert, um sie universeller, demokratischer und transparenter zu machen, und in der Zeit vom 1. Juli 1994 bis zum 30. Juni 1998 mit über 2 Milliarden US-Dollar dotiert. Die zweite Auffüllung für den Vierjahreszeitraum ab 1998 wird auf Mittelzusagen von 36 Regierungen basieren und sich auf insgesamt 2,75 Milliarden US-Dollar belaufen.

◆ **Projekte müssen von den jeweiligen Ländern initiiert werden und sich auf nationale Prioritäten beziehen, die der nachhaltigen Entwicklung dienen.** Die GEF konzentriert sich auf vier Bereiche: Klimawandel, Artenvielfalt, internationale Gewässer und Schutz der Ozonschicht. Die vereinbarten zusätzlichen Kosten von Aktivitäten zur Bekämpfung der Landverödung (hauptsächlich durch Wüstenbildung und Entwaldung) bzw. von Tätigkeiten



im Rahmen der Agenda 21 zugunsten der globalen Umwelt können ebenfalls zur Finanzierung eingereicht werden, sofern sie sich auf einen der vier Schwerpunkte beziehen. Bis Ende 1996 gingen rund 38 Prozent der im GEF-Portefeuille befindlichen Brutto-Mittel in den Klimaschutz.

◆ **Neben Projekten zur technischen Hilfe und Investitionsprojekten unterstützt die GEF verschiedene Aktivitäten zur „Kompetenzsteigerung“.** Mit diesen Aktivitäten soll Ländern geholfen werden, die nötige institutionelle Kapazität zur Entwicklung und Umsetzung von Strategien und Projekten zu schaffen. Insbesondere trägt die GEF die gesamten Kosten für die Vorbereitung der von der Konvention geforderten nationalen Mitteilungen. Während von nichtstaatlichen Organisationen geförderte Initiativen unter Beteiligung der Bevölkerung durch ein von UNDP verwaltetes „Zuschußprogramm“ unterstützt werden, können mittelgroße Projekte (unter 1 Million US-Dollar) über UNDP, UNEP oder die Weltbank finanziert werden. Abgesehen von direkten Zuschüssen fördert die GEF auch bilaterale, gemeinsame und parallele Finanzierungsvereinbarungen. Sie bemüht sich auch um eine verstärkte Beteiligung des Privatsektors.

◆ **Finanzierungsvorschläge an die GEF werden bei einer der drei mit der Durchführung beauftragten Organisationen eingereicht.** Jede von ihnen – UNDP, UNEP und die Weltbank – hat bei der Förderung von Projekten und der Unterstützung des GEF-Prozesses ihre eigene, spezielle Rolle. Das GEF-Sekretariat überwacht das Arbeitsprogramm und sorgt dafür, daß die Projekte im Einklang mit den GEF-Programmstrategien und -richtlinien stehen. Genehmigte Projekte werden von den verschiedensten Stellen in die Praxis umgesetzt, etwa von staatlichen Ministerien, nichtstaatlichen Organisationen (NGOs), UN-Gremien, regionalen multilateralen Institutionen und Privatfirmen. Das oberste Gremium für alle Finanzierungsentscheidungen und operativen, programmatischen und strategischen Fragen ist der GEF-Rat. Er besteht aus 32 der 157 GEF-Mitglieder und tritt zweimal jährlich zusammen. Die Versammlung aller teilnehmenden Länder findet alle drei Jahre statt.

◆ **1999 ersuchte die Konferenz der Vertragsparteien die GEF, den Finanzierungsmechanismus auch weiterhin zu verwalten.** Sie beschloß, die Situation innerhalb der nächsten vier Jahre erneut zu überprüfen. Wie in der Klimakonvention vorgesehen, wird sie die GEF auch zukünftig in bezug auf ihre politischen und Programmprioritäten sowie die Zuweisungskriterien im Zusammenhang mit Klimawandelprojekten beraten. Sie hat betont, daß die von der GEF finanzierten Projekte kostengünstig sein und nationale Entwicklungsprioritäten unterstützen sollten. Darüber hinaus sollten sie sich zumindest in der Anfangsphase auf „Aktivitäten zur Kompetenzsteigerung“ konzentrieren, die den Entwicklungsländern bei der Zusammenstellung und Vorlage der Informationen über ihre Schritte zur Umsetzung der Klimakonvention helfen.

Weltweite Zusammenarbeit im Bereich der Technologie

◆ **Der Klimawandel ist ein weltweites Problem, das einer weltweiten Lösung bedarf.** Der bei weitem größte Teil der historischen und gegenwärtigen Treibhausgasemissionen geht auf das Konto der entwickelten Länder; 1994 betrug ihr Anteil rund 75 Prozent der weltweiten Emissionen. Während in den entwickelten Ländern mit einer – weit über dem weltweiten Durchschnitt liegenden – Stabilisierung der Pro-Kopf-Emissionen zu rechnen ist, werden die Emissionen in den Entwicklungsländern weiter kontinuierlich steigen und wahrscheinlich noch vor dem Jahr 2025 50 Prozent der weltweiten Emissionen erreichen.

◆ **Die Entwicklungsländer werden Zugang zu umweltfreundlichen Technologien brauchen, wenn sie die Emissionen ihrer wachsenden Volkswirtschaften begrenzen sollen.** Solche Technologien sind zur Schaffung emissionsarmer industrieller Infrastrukturen unerlässlich. In der Klimakonvention erklären sich die reichsten Länder (im wesentlichen die OECD-Mitgliedstaaten) bereit, „alle nur möglichen Maßnahmen [zu ergreifen], um die Weitergabe von umweltverträglichen Technologien und Know-how an andere Vertragsparteien, insbesondere solche, die Entwicklungsländer sind, oder den Zugang dazu, soweit dies angebracht ist, zu fördern, zu erleichtern und zu finanzieren, um es ihnen zu ermöglichen, die Bestimmungen der Konvention durchzuführen“.

◆ **Technologie kann auf verschiedene Arten weitergegeben werden.** Die traditionelle Methode ist die bilaterale oder multilaterale Entwicklungshilfe in Form von Exportkrediten, Versicherungen und anderen handelsfördernden Maßnahmen. Die Einbeziehung von Überlegungen zum Klimaschutz in die Programme der nationalen Entwicklungsbehörden und multilateralen Entwicklungsbanken würde den Transfer emissionsarmer Technologien erheblich steigern. In der Klimakonvention sind auch zwei neue Transfermöglichkeiten vorgesehen. Die erste ist die von den Regierungen finanzierte „Globale Umweltfazilität“ (GEF). Bei der zweiten handelt es sich um das Programm „Gemeinsam umgesetzte Aktivitäten“ oder AIJ, dessen Aufgabe es ist, auf dem Privatsektor Mittel für den Transfer von Technologie und Know-how in Entwicklungs- und Reformländer zu mobilisieren. In der Klimakonvention heißt es hierzu ausdrücklich, daß diese beiden Methoden die traditionelle Entwicklungshilfe ergänzen, nicht ersetzen sollen.

◆ **Die GEF hat bei der gemeinsamen Entwicklung und dem Transfer fortschrittlicher Technologien eine wichtige Rolle zu spielen.** Die Fazilität unterstützt sowohl die Entwicklung als auch die Demonstration von Technologien, mit denen die Wirtschaftlichkeit gesteigert und die Treibhausgasemissionen gesenkt werden können, und fördert gleichzeitig die nachhaltige Entwicklung in Entwicklungs- und Reformländern. Anhand von GEF-Projekten kann die technische Machbarkeit und Kosteneffizienz von Technologien für erneuerbare Energieträger und von Energiesparlösungen aufgezeigt werden. In diesen Fällen übernimmt die GEF die zusätzlichen Kosten, die entstehen, wenn eine umweltschädigende Technologie durch eine umweltverträgliche ersetzt wird.

◆ **Gemeinsam umgesetzte Aktivitäten werden als eine Möglichkeit angesehen, auf dem Privatsektor Mittel für Klimaschutzaktivitäten zu beschaffen.** Wenn das AIJ-Programm Erfolg hat, könnte es die gemeinsame Entwicklung fortschrittlicher Technologien und ihren Transfer von den entwickelten Ländern in andere Teile der Welt fördern. Diese Technologien müßten für die örtlichen Gegebenheiten geeignet, umweltfreundlich und wirtschaftlich wettbewerbsfähig sein. AIJ wird in Form von Partnerschaften zwischen einem investierenden Unternehmen in einem entwickelten Land und einem Partner im Gastland (bei dem es sich um ein entwickeltes, ein Entwicklungs- oder ein Reformland handeln kann)



durchgeführt. Vom investierenden Partner wird erwartet, daß er den Großteil der erforderlichen Technologien und Geldmittel einbringt. Der Partner im Gastland kann den Standort, die wichtigsten Mitarbeiter und die Organisation stellen, die zur Einführung und weiteren Durchführung des Projekts benötigt werden.

◆ **AIJ befindet sich derzeit in seiner Versuchsphase, die 1999 zu Ende geht.** Die Verfechter des Programms meinen, daß AIJ die weltweiten Emissionen kostengünstig reduzieren könne, da die Reduzierung einer bestimmten Menge an Emissionen in vielen Entwicklungs- und Reformländern billiger sei als in manchen entwickelten Ländern. Die Skeptiker befürchten, daß mit AIJ nicht nur Technologie weitergegeben wird, sondern daß – entgegen der mit der Klimakonvention verfolgten Absicht – die Verantwortung für die Bekämpfung des Klimawandels von den entwickelten auf die Entwicklungsländer abgeschoben wird. Während der Versuchsphase werden einem investierenden Land die mit seiner Hilfe in einem anderen Land gesenkten Emissionen nicht angerechnet, obwohl die Befürworter dieses Konzepts den Standpunkt vertreten, daß ein Anrechnungssystem wichtig ist, wenn das Potential des AIJ-Programms voll zum Tragen kommen soll. Ein weiterer Aspekt ist die Strukturierung des Berichts- und Vorschriftssystems und die Frage, wie verhindert werden kann, daß nicht wettbewerbsfähige und nicht geeignete Technologien weitergegeben werden.

◆ **Das 1997 verabschiedete Protokoll von Kyoto sieht einen „Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung“ vor.** Dieser Mechanismus soll den Entwicklungsländern dabei helfen, eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen und zum Endziel der Konvention beizutragen. Er wird von den Vertragsparteien des Protokolls geleitet, von einem Exekutivrat beaufsichtigt und beruht auf freiwilliger Teilnahme. Projektaktivitäten resultieren in „zertifizierten Emissionsreduktionen“, die entwickelte Länder nutzen können, um ihre eigenen rechtsverbindlichen Reduktions- und Begrenzungsverpflichtungen zu erfüllen. Diese Projekte können private oder öffentliche Körperschaften mit einbeziehen und müssen zu realen und meßbaren langfristigen Emissionsbegrenzungen führen. Die Einzelheiten der praktischen Durchführung dieses Mechanismus bedürfen noch der Ausarbeitung.

DATEN über Treibhausgasemissionen und -quellen

Tabelle 1: Einige Treibhausgase, die von menschlichen Aktivitäten beeinflusst werden

	CO ₂ (Kohlen- dioxid)	CH ₄ (Methan)	N ₂ O (Distick- stoffoxid)	FCKW-11	HFCKW-22 (ein FCKW- Ersatzstoff)	CF ₄ (ein Perfluor- Kohlenstoff)	SF ₆ (Schwefel hexafluorid)
Vorindustrielle Konzentration	~280 ppmv ⁺	~700 ppbv	~275 ppbv	null	null	null	null
Konzentration 1994	358 ppmv	1720 ppbv	312 ^s ppbv	268 ^s pptv	110 pptv	72 ^s pptv	3-4 pptv
Ausmaß der Konzentrations- änderung pro Jahr*	1,5 ppmv 0,4%	10 ppbv 0,6%	0,8 ppbv 0,25%	0 pptv 0%	5 pptv 5%	1,2 pptv 2%	0,2/pptv ~5%
Verweilzeit in der Atmosphäre (in Jahren)	50-200 ⁺⁺	12 ⁺⁺⁺	120	50	12	50 000	3 200

^s Schätzung anhand von Daten der Jahre 1992-1993
⁺ 1 ppmv = 1 part per million by volume; 1 ppbv = 1 part per billion (Milliarde) by volume; 1 pptv = 1 part per trillion (Billion) by volume
⁺⁺ Für CO₂ kann aufgrund der verschiedenen Absorptionsraten unterschiedlicher Senken keine einheitliche Lebensdauer angegeben werden.
⁺⁺⁺ Definiert als Anpassungszeit unter Berücksichtigung der indirekten Auswirkungen von Methan auf seine eigene Lebensdauer
^{*} Die Anstiegsraten von CO₂, CH₄ und N₂O gemittelt über die Dekade beginnend mit 1984; die Anstiegsraten der halogenierten Kohlenwasserstoffe sind die der letzten Jahre (neunziger Jahre). (Anm.d.Hrsg.: 1 kg Kohlenstoff = 3 664 kg CO₂)

Quelle: *Climate Change 1995, IPCC-Arbeitsgruppe I, S. 15*

Tabelle 2: Weltweiter Energieverbrauch 1990 nach Energiequelle und Sektor, in EJ/Jr*

	Kohle	Öl	Gas	Kernkraft	Wasserkraft ¹	Elektr. Strom	Wärme	Biomasse	Gesamt
Primär	91	128	71	19	21	—	—	55	385
Final	36	106	41	—	—	35	8	53	279
Industrie	25	15	22	—	—	17	4	3	86
Verkehr	1	59	0	—	—	1	0	0	61
Sonstige	10	18	18	—	—	17	4	50	117
Ausgangsmaterial ^{b)}	0	14	1	—	—	—	—	—	15

Anmerkung: Die aus natürlichen Quellen direkt gewonnene Primärenergie (z.B. abgebaute Kohle, gesammelte Biomasse oder nutzbar gemachte Wasserkraft) wird in Brennstoffe und elektrischen Strom umgewandelt (z.B. elektrischen Strom, Treib- und Kraftstoff und Holzkohle) und ergibt die Finalenergie nach Verteilung und Anlieferung am Ort des Endverbrauchs.

* Ein EJ oder Exajoule ist eine Milliarde Joules und entspricht dem Energiegehalt von rund 24 Millionen Tonnen Erdöl.

a) Strom aus Kern- und Wasserkraft wurden in primäres Wärmeäquivalent mit einem Durchschnittsfaktor von 38,5% umgerechnet (WEC, 1983).

b) Ausgangsmaterial bedeutet Verwendung von Kohlenwasserstoffen zu anderen als Energiezwecken.

Quelle: *Climate Change 1995, IPCC-Arbeitsgruppe II, S. 83; basierend auf IEA, 1993; Hall, 1991, 1993; UN, 1993; WEC, 1983, 1993a, 1993b; Nakićenovic et al., 1993*

Tabelle 3: Landflächen und Landnutzung, 1982-1994

	Landnutzung (in 1 000 ha)										
	Land- fläche (in 1 000 ha)	Bevölkerungs- dichte (je 1 000 ha)	Nutzfläche in % der Landfläche ¹	Anbauflächen		Ständiges Weideland		Wald u. forstwirtschaftl. Flächen		Sonstige Flächen	
				1992-94	1982-84	1992-94	1982-84	1992-94	1982-84	1992-94	1982-84
Welt ^{b)}	13 048 300	442	37	1 465 814	2,0	3 410 203	3,2	4 177 088	(2,2)	3 992 533	(1,0)
Afrika	2 963 468	249	36	189 803	6,5	889 350	0,0	713 405	(0,3)	1 171 024	(0,8)
Europa	2 260 320	322	22	317 837	X	178 549	X	947 761	X	816 036	X
Nord- amerika	1 838 009	163	27	233 276	(1,1)	267 072	1,2	749 290	2,9	588 371	(2,6)
Mittel- amerika	264 835	475	53	40 053	5,4	98 503	6,2	74 524	1,2	85 910	(9,2)
Südamerika	1 752 925	184	35	113 116	9,0	495 341	3,0	934 860	0,6	209 471	(12,3)
Asien	3 085 414	1 130	51	520 175	X	1 051 311	X	556 996	X	956 913	X
Ozeanien	849 135	34	57	51 553	1,4	430 077	(2,8)	200 252	(0,2)	164 807	6,3

Anmerkung: Negative Zahlen wurden in Klammern gesetzt. ¹ Nutzflächen sind die Summe der Anbauflächen und ständigen Weideflächen. ^{b)} ohne Antarktika
X keine Daten verfügbar

Quelle: *Adaptiert aus „World Resources 1998-99“, veröffentlicht von WRI, UNEP, UNDP und der Weltbank, S. 298-299; basierend auf Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, Population Division der Vereinten Nationen und anderen Quellen*



Tabelle 4: Anthropogene CO₂-Emissionen ohne Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft: Relativer Ist-Zustand für 1990-1995 und Prognose für 2000

	(Prozentsätze bezogen auf 1990, 1990 = 100)						Prognose	
	1990 ^a	1991	1992	1993	1994	1995	2000	Änderung zum Bezugsjahr in Prozent ^b
	(Gg)	%	%	%	%	%	(Gg)	%
Australien	273 123	101	102	103	105	109	311 200	19
Belgien	116 090	103	102	99	104		125 200	8
Bulgarien	96 878	68	62	64	61	64	74 730	-11
Dänemark	52 277	120	110	114	121	114	54 309	-9
Deutschland	1 014 155	96	91	91	89	88	894 000	-12
Estland	37 797	98	73	58	60	55	19 700	-47
Finnland ^c	53 800		97	99	110	104	(58 000 – 60 000)	(8 - 12)
Frankreich	378 379	106	106	99	99	102	372 934	-2
Griechenland	84 575	100	102	103	105	107	89 120	16
Großbritannien	583 747	101	98	95	95	93	550 000	-5
Irland	30 719	103	105	104	108	110	34 998	14
Island	2 147	96	102	107	105	106	2 697	26
Italien ^c	432 150				95	101	421 272	5
Japan	1 124 532	102	103	101	108	108		
Kanada	464 000	98	101	101	104	108	500 600	8
Lettland	24 771	78	66	58	48	49	12 274	-51
Litauen ^c	39 535						27 147	-31
Luxemburg ^c	12 750				94	75	5 684	-45
Monaco ^c	71							
Neuseeland	25 476	102	110	107	107	107	31 080	22
Niederlande	167 550	104	103	105	105	109	173 500	0
Norwegen	35 544	95	97	101	106	107	44 000	22
Österreich	61 880	107	97	96	96	100	57 300	-7
Polen ^c	476 625		78		78		425 000	-12
Portugal ^c	47 123	104	112	107	108		50 130	35
Rumänien ^c	198 479	71	62	61				
Russische Föderation ^c	2 372 300	93	85	78	70		1 750 000	-26
Schweden	55 445	100	101	101	106	105	60 100	3
Schweiz	45 070	104	101	98	96	98	43 900	-7
Slovakei	60 032	88	81	77	72	81	(44 780 – 46 178)	(-25) - (-23)
Slowenien ^c	13 935							
Spanien ^c	226 423	100	104	100	102		258 247	14
Tschechische Republik	165 490	93	85	81	77	78	139 000	-17
Ukraine ^c	700 107						530 042	-25
Ungarn	83 676	81	72	73	71	71	64 300	-23
Vereinigte Staaten	4 960 432	99	100	103	104	105	5 627 310	13

* Gg = 1 000 Tonnen

^a In Übereinstimmung mit Entscheidung 9/CP.2 verwenden einige Vertragsparteien, die zu den Reformländern zählen, andere Basisjahre als 1990: Bulgarien (1988), Ungarn (Durchschnittswert aus 1985-87), Polen (1988) und Rumänien (1989).

^b Der Wert des Basisjahres, der für die Ermittlung der Änderung in % verwendet wurde, kann von dem Wert abweichen, der in dieser Tabelle für das Jahr 1990 angegeben wurde, da in manchen Fällen ein anderes Basisjahr herangezogen bzw. nur ein Teil des Wertes für 1990 verwendet wurde oder die Bestandsdaten im nachhinein aktualisiert, die Modelle kalibriert oder Zahlen gerundet wurden.

^c Die Vertragspartei hat nicht für alle Jahre nach 1990 Schätzungen bereitgestellt.

Quelle: Zweiter Zustands- und Synthesbericht über die von den Vertragsparteien der Klimakonvention vorgelegten Zweiten Mitteilungen, Doc. FCCC/CP/1998/11/Add.2 (Daten für Rumänien aus Doc. FCCC/SBI/1997/INF.4), Sekretariat der Klimarahmenkonvention

Tabelle 5: Treibhausgasemissionen 1991 (in 1 000 Tonnen)

	CO ₂ -Emissionen aus Industrie-prozessen	CO ₂ -Emissionen aus Änderungen in der Landnutzung	Methan aus anthropogenen Quellen					Gesamt
			Feste Abfallstoffe	Kohle-abbau	Öl- und Gas- produktion	Reisanbau (Naßkultur)	Vieh-zucht	
Welt	22 339 408	4 100 000	43 000	36 000	44 000	69 000	81 000	270 000
Afrika	715 773	730 000	1 700	1 700	6 000	2 400	9 000	21 000
Europa	6 866 494	11 000	17 000	6 600	15 000	420	14 000	53 000
Nord- und Mittel-amerika	5 715 466	190 000	11 000	6 100	8 200	590	9 200	35 000
Südamerika	605 029	1 800 000	2 200	280	2 200	870	15 000	21 000
Asien	7 118 317	1 300 000	9 900	20 000	12 000	65 000	30 000	140 000
Ozeanien	297 246	38 000	690	1 400	310	75	3 300	5 800

Quelle: World Resources Institute, zitiert nach „World Resources 1996-97“, S. 326-329

Tabelle 6: Pro-Kopf-CO₂-Emissionen (in Tonnen) für 10 ausgewählte Länder

Brasilien	1,6
China	2,7
Tschechische Republik	10,9
Japan	9,0
Russische Föderation	12,2
Swasiland	0,5
Indien	1,0
Malaysia	5,3
GB	9,3
US	20,5

Quelle: Zahlen für 1995; adaptiert von CDIAC, zitiert nach „World Resources 1998-99“