

Folgen des Klimawandels

Die Folgen des Klimawandels lassen sich heute nicht sicher beschreiben, denn sie zeigen sich am konkretesten auf lokaler Ebene, für die jedoch bisher keine ausreichend sicheren Aussagen zum Ausmaß des Klimawandels möglich sind. Deshalb sollen hier einige plausible Folgen mit dem Schwerpunkt auf Mitteleuropa dargestellt werden. Nur in wenigen Fällen werden auch andere Regionen betrachtet – besonders, wenn die dort erwarteten Auswirkungen dramatisch oder katastrophal sein können.

Folgen für natürliche Systeme Folgen für die unbelebte Natur

Die Projektionen des internationalen Klima-Expertenremiums (IPCC) für die weltweite Temperaturerhöhung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts reichen von 1,1 bis 6,4 Grad. Bereits die im Vergleich dazu geringe Temperaturerhöhung seit Beginn der Industrialisierung (0,6 Grad) reichte aus, um weltweit die Gebirgsgletscher schmelzen zu lassen und den Meeresspiegelanstieg zu beschleunigen. Das Abschmelzen der Gletscher und – mehr noch – das Auftauen der riesigen Flächen Permafrostbodens in Sibirien, Kanada und Alaska führen zu jeweils besonderen Problemen. Während die Gebirgsgletscher wegen ihres vergleichsweise geringen Gesamtvolumens nicht wesentlich zum Meeresspiegelanstieg beitragen werden, sind jedoch zusätzliche Probleme durch deren Verschwinden zu erwarten: Viele Flusssysteme, die zeitweise hauptsächlich durch Schmelzwasser gespeist werden, könnten dann extrem wenig

Wasser führen oder teilweise ganz trocken fallen. Der Permafrost, der in Gebirgsregionen Geröllzonen zusammenhält, wird auftauen und dadurch die Möglichkeit zu mehr Erdbeben eröffnen. Manche davon könnten gewaltig sein.

In arktischen Breiten wird der Permafrost beim Auftauen zunächst eine riesige Sumpflandschaft hinterlassen, anfangs mit tausenden sich neu bildenden Seen, deren Wasser dann später ebenso rasch wieder in den Untergrund abfließen kann – so verschwinden sie wieder. Aus dem auftauenden Boden könnten gewaltige Methanmengen entweichen, die zur weiteren Aufheizung der Atmosphäre beitragen. Sollte der Mensch sich auch noch dazu entschließen, die Sümpfe trocken zu legen und das Land urbar zu machen, kämen unweigerlich weitere Treibhausgase aus dem Abbau der im Boden konservierten Biomasse hinzu, ob als Methan oder Kohlendioxid.

Durch das Abschmelzen des Grönlandeises könnte der Meeresspiegel um sieben Meter steigen. Das Eis der Antarktis ist sogar für mehr als 60 Meter gut. Das sind zwar keine raschen Ereignisse – die meisten Projektionen gehen von Prozessen zwischen mehreren hundert (Grönland) bis zu zehntausenden von Jahren (Antarktis) aus. Einmal in Gang gesetzt, könnte es jedoch keine Umkehr geben. Und die Erhöhung des Meeresspiegels um 10 Meter oder mehr ist selbst für Industrienationen wie Deutschland ein Ereignis mit dramatischen Folgen. Viele Inselstaaten würden gar einen Anstieg um wenige Meter nicht überstehen – und von der Landkarte verschwinden.

Die veröffentlichten Projektionen zu den Folgen des Klimawandels blenden häufig die Zeit nach 2100 aus. Dadurch hat sich in den Medien der Eindruck verfestigt, es gäbe keine Probleme danach. Das ist jedoch nicht der Fall, wie im Kasten „Trägheit des Klimasystems“ anschaulich dargestellt wird. Selbst wenn es uns gelänge, in den nächsten 30 bis 40 Jahren den Gipfel des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zu überschreiten und ihn in 200 bis 300 Jahren auf ein Zehntel oder weniger des heutigen Wertes zu verringern, würde das Eis der Antarktis aufgrund unseres Klimasignals noch für mehr als 10 000 Jahre weiter schmelzen.

Folgen für die belebte Natur

Die Projektionen des IPCC lassen für Europa eine Zweiteilung des Klimas erwarten: Im Süden, besonders im Mittelmeerraum, wird es ganzjährig trockener und im Norden, besonders in Skandinavien, feuchter – zumindest im Winter. Wo die Grenze zwischen Nord- und Südeuropa sein wird, ist hingegen nicht sicher – insbesondere ob Deutschland in dieser Hinsicht überwiegend zum Norden oder zum Süden gehören wird. Wärmer wird es aber überall – bis auf die Balkanregion, in der es auch bereits in der jüngsten Vergangenheit zu einer leichten Abkühlung gekommen ist.

Für die Ökosysteme des Südens bedeutet das die Notwendigkeit der Anpassung an noch trockenere Verhältnisse mit Wüsten- oder Halbwüstencharakter. Spezies, die in einer solchen Umgebung nicht existieren können, werden aussterben oder bei ausreichender Mobilität migrieren (vorzugsweise nach Norden) und dann möglicherweise eine neue Chance erhalten, wenn die unterwegs angetroffenen Bedingungen ihren Anforderungen entsprechen. Für die dort bereits vorhandenen Ökosysteme wird die Ankunft von „Neubürgern“ in einzelnen Fällen ein Problem darstellen, das sie tief greifend verändern kann.

Auch im Norden werden Spezies, denen es zu warm wird, migrieren – wenn sie können. Schwierig wird es für zu wenig mobile Arten und solche, die auf Berginseln existieren. Sie können ab einer bestimmten Rate der Temperaturerhöhung nicht mehr folgen oder oberhalb einer bestimmten Temperaturerhöhung nicht mehr ausweichen – weil der Berggipfel erreicht ist – und werden untergehen.

Bewegt man sich von der Ebene der Einzelspezies zu Nahrungsnetzen oder Ökosystemen, wird die Situa-

tion komplexer. Vereinfacht kann angenommen werden, dass Auswirkungen umso dramatischer werden können, je stärker die Beziehung zwischen Räuber und Beute ist. Ist eine Art auf ein ganz spezielles Nahrungsangebot angewiesen, ist sie dann sehr verletzlich, wenn das Nahrungsangebot in der üblichen Menge oder zur üblichen Zeit nicht mehr zur Verfügung steht. Ernähren beispielsweise Vögel sich und ihre Brut vorwiegend von bestimmten Insekten oder deren Larven und sind diese zur Zeit der Brut nicht vorhanden, weil sich deren Verbreitungsgebiet verlagert hat oder weil sie sich früher oder später entwickeln als es die Jungvogelaufzucht erfordert, werden sie ein ernsthaftes Problem bekommen. Besser ist die Situation für Generalisten, die ein breites – gegebenenfalls pflanzliches und tierisches – Nahrungsspektrum akzeptieren.

Der Abriss von Strömungssystemen wie dem Nordatlantikstrom führte zu geringerer Durchmischung der Ozeane und damit zur Einschränkung des Gas- und Nährstofftransports – mit wahrscheinlich dramatischen Konsequenzen für viele ozeanische Ökosysteme, einschließlich der Nahrungsversorgung des Menschen. Eine stärkere Schichtung des Wassers zöge sehr wahrscheinlich eine höhere Oberflächentemperatur nach sich, was die Bildung sehr intensiver Sturmsysteme gestattete. Die höhere Temperatur der oberen Wasserschichten bedeutete aber auch für viele oberflächennahe Ökosysteme das Aus: Große Korallenriffe befinden sich bereits heute an der Obergrenze ihrer Temperaturtoleranz.

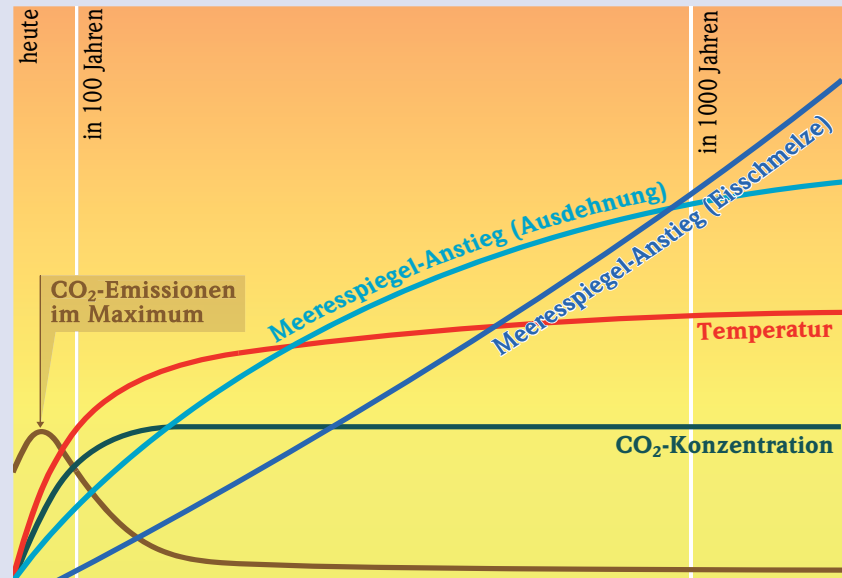
Im Allgemeinen kann jedoch vermutet werden, dass sich natürliche Systeme langfristig an den Klimawandel anpassen können. Auf dem Weg dorthin wird es sicher in bestimmten Fällen zu einem Verlust von Arten – entweder regional begrenzt oder weltweit – kommen. In ferner Zukunft wird sich unter den neuen klimatischen Bedingungen jedoch sicher wieder ein neues Gleichgewicht einstellen. Dies kann aber in den Fällen problematisch werden, in denen zusätzlicher Druck – beispielsweise durch Verhalten oder Eingriffe des Menschen – ausgeübt wird. Dadurch könnte es auch großräumig nachhaltige Veränderungen geben, die mit einem dramatischen Artenschwund einhergehen können. Es ist deshalb wichtig, die notwendige Anpassung natürlicher Systeme an den vom Menschen verursachten Klimawandel nicht noch zusätzlich durch Druck auf diese Systeme zu erschweren. Letztlich sollten wir uns daran erinnern, dass die Natur Grundlage für unsere Existenz ist, auch wenn manche Ökonomen das offenbar noch nicht verstanden haben.

Folgen für anthropogene Systeme

Der Klimawandel ist nicht das einzige Problem, vor dem der Mensch im 21. Jahrhundert steht. Durch das starke Bevölkerungswachstum wird es zu einem rasant ansteigenden Ressourcenverbrauch kommen – zumal unter den sich gerade abzeichnenden Bedingungen des angestrebten wirtschaftlichen Aufholens durch so bevölkerungsreiche Länder wie China und Indien. Die dadurch entstehende labile Situation wird die Bedingungen des Klimawandels noch dramatisch verschärfen und viel Kapital zur Verringerung der Auswirkungen binden, das man für andere ungelöste Probleme der menschlichen Entwicklung besser hätte investieren können.

Wie die bereits in mehreren deutschen Bundesländern durchgeführten Klimaprojektionen zeigen, ist bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur zwischen 2 und 4 Grad zu rechnen (siehe aber auch Kasten: „Trägheit des Klimasystems“). Da sich besonders die Winter- und Sommertemperaturen erhöhen werden, ist mit einem geringeren Energiebedarf im Winter für Heizung und mit einem größeren Energiebedarf im Sommer für Kühlung zu rechnen. Ob sich im Saldo eher ein höherer oder niedrigerer Energieverbrauch ergibt, kann derzeit nicht mit Sicherheit gesagt werden. Die Klimaerwärmung führt somit nicht automatisch zu einer Senkung des Energieverbrauchs – wohl aber mit Sicherheit zu veränderten Mustern der Energienachfrage. Durch Kombination von Dämmung, die ja nicht nur gegen Kälte hilft, mit der Anwendung von Kühl- und Belüftungs-

Trägheit des Klimasystems



In der aus dem Dritten Sachstandsbericht des IPCC (TAR) entnommenen und angepassten Abbildung ist anschaulich dargestellt, was sich als Konsequenz aus einer in braun dargestellten angenommenen Kohlendioxid-Emissionsentwicklung ergeben würde. Die Annahme geht davon aus, dass die Emissionen der Welt an Kohlendioxid innerhalb der nächsten 30 bis 40 Jahre ihren Scheitelpunkt erreichen und danach steil abfallen; bis auf ein Zehntel des heutigen Wertes in 300 bis 400 Jahren. Nur unter dieser Voraussetzung würde sich der Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentration nach Überschreiten des Emissions-Scheitels langsam reduzieren und in 200 bis 300 Jahren ein relativ konstantes Niveau erreichen. Trotz dann rapide gesunkener Kohlendioxid-Emissionen bliebe die atmosphärische Konzentration über Jahrtausende auf dem hohen Niveau, bevor sie wieder anfangen, langsam zu sinken (in der Abbildung außerhalb der Zeitachse). Die Kohlendioxid-Konzentration führte wiederum zur rot dargestellten Temperaturentwicklung. Erst nach rund hundert Jahren würde sich der zunächst rasante Anstieg verlangsamen. Der Temperaturscheitel würde jedoch erst nach etwa 1500 Jahren erreicht und die Temperaturerhöhung wäre nach dieser Zeit nahezu doppelt so stark wie nach 100 Jahren. Mit einem Sinken der Temperatur ist erst nach der Abnahme der atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentration zu rechnen. Insofern handelt es sich beim Temperaturscheitel eher um ein Plateau.

Der Meeresspiegelanstieg ist in blau dargestellt. Unterschieden sind die Effekte durch thermische Volumenausdehnung des Wassers (hellblaue Linie) und Volumenvergrößerung durch Abschmelzen von Festlandeis (Grönland, Antarktis; dunkelblaue Linie). Während der Beitrag durch Erwärmung (Ausdehnung) nach rund 2000 bis 3000 Jahren in eine ähnliche Plateau-Phase läuft wie Kohlendioxid-Konzentration und Temperatur, liefert das schmelzende Festlandeis auch nach 10000 Jahren noch einen Beitrag zum Meeresspiegel-Anstieg – obwohl dann schon lange kaum noch Kohlendioxid in die Luft gelangt und sowohl dessen Konzentration als auch die Temperatur wieder gesunken sind.

Fazit: Im Klimasystem gibt es keinen „Not-Aus-Knopf“. Wir werden für längere Zeit mit den Konsequenzen unseres vergangenen und künftigen Handelns leben müssen als die bisherige Geschichte der verschiedenen menschlichen Kulturen in der Zeit zurückreicht.

techniken aus der Natur kann es zumindest im Gebäudebereich gelingen, den durchschnittlichen flächenbezogenen Energiebedarf auf unter ein Zehntel des derzeitigen Wertes zu senken. Ein großer Teil der dazu nötigen Verfahren ist bereits heute verfügbar und erprobt.

Damit verbleibt noch der Energiebedarf für wirtschaftliche Tätigkeiten und für Mobilität. Hier ist es erforderlich das Nötige vom Unnötigen zu unterscheiden (Stichworte: Effizienz, Suffizienz) und den unabwendbaren Energiebedarf durch erneuerbare Energien zu decken.

Das derzeitige ökonomische System scheint nicht in der Lage zu sein, die Entwicklung zu steuern, da das wesentliche Steuerungsinstrument, die Preise, einerseits bei weitem nicht alle Einflussgrößen (Externalitäten) berücksichtigen und andererseits keinen Mechanismus enthalten, der weit in der Zukunft liegende Entwicklungen berücksichtigen würde. Vielmehr spiegeln sie die aktuelle Situation auf Grund von Angebot und Nachfrage wider. Wenn also eine Ware knapp wird, steigen die Preise, nicht jedoch, wenn diese Knappheit in 100, 1 000 oder 10 000 Jahren zu erwarten ist und heute gehandelt werden müsste, um die künftige Knappheit zu vermeiden. Bei Gütern, die der Bequemlichkeit oder dem Luxus dienen, mag das angehen. Wenn es sich aber um überlebenswichtige natürliche Prozesse handelt, kann auch die größte Geldmenge die erforderlichen Waren oder Dienste nicht mehr beschaffen, wenn die Natur so gestört wurde, dass sie diese nicht mehr zur Verfügung stellt. Es ist deshalb nicht nur sinnvoll, sondern absolut erforderlich, dem Markt ein politisches Korrektiv mit Weitblick zur Seite zu stellen.

Für Europa wird es, bei einer solchen verantwortungsvollen Politik wahrscheinlich möglich sein, der Bevölkerung die nötigen Nahrungsmittel zur Verfügung zu stellen – wenn auch nicht notwendigerweise in jeder Region. Bereits heute leiden einige Mittelmeerländer unter anhaltenden Dürren. Wenn die Projektionen zutreffen, wird sich diese Situation verschärfen. In den nördlichen Regionen wird es aller Voraussicht nach aber möglich sein, dies auszugleichen, wenn auch zum Preis der Ausweitung von Transporten, die eigentlich – da energieintensiv – eingeschränkt werden sollten.

Im Allgemeinen wird erwartet, dass die Landwirtschaft in Nordeuropa unter Nutzung neuer Züchtungen und Bewirtschaftungsmethoden sich an einen Klimawandel des projizierten Ausmaßes

anpassen kann. Dabei gibt es jedoch viele Unbekannte. Zwei absehbare Probleme sind Extremwetter-Ereignisse und das vermehrte Auftreten von Schädlingen. Bei einer Häufung von Dürren, Starkniederschlägen, Stürmen und Hagel ist die Prognose schwierig, ob dann die Versorgung immer noch sichergestellt werden kann. Auch das Auftreten von häufigerem beziehungsweise stärkerem Schädlingsbefall (größere Populationen, mehr Generationen pro Saison, Resistenzentwicklungen) oder gar völlig neuen Schädlingen (Einwanderung aus anderen Welt-Regionen) ist eine Möglichkeit des Klimawandels mit unbekanntem Ausgang.

Wassermangel wird in Hessen kein Problem sein. Nach den vorliegenden Projektionen, die aber noch abgesichert werden müssen, ist in weiten Teilen des Landes mit erhöhten Grundwasser-Neubildungsraten zu rechnen. Sowohl die Trinkwasserversorgung als auch die Befriedigung des Bewässerungsbedarfs der Landwirtschaft erscheint damit grundsätzlich gesichert, wenn auch die Wasserqualität sich lokal verschlechtern könnte. In einzelnen Jahren kann es jedoch, besonders im Spätsommer/Frühherbst zu extrem niedrigen Abflüssen in hessischen Flusssystemen kommen – mit Folgen für die Energieversorgung, den Gütertransport und die Abwasser-Einleitungen.

Bei der Aussicht auf wärmeres Wetter herrscht meistens heitere Stimmung, denn viele sind der Ansicht, dass Deutschland dadurch attraktiver würde. Leider gibt es dabei aber keine Wahlfreiheit: Man kann das Wetter nicht so bestellen, wie es einem passt, sondern man muss nehmen, was Natur und Klimasystem bringen werden. Wärmer bedeutet deshalb nicht, dass sich die Temperatur im gesamten Jahr langsam und gleichmäßig erhöht, vielmehr werden bestimmte Jahreszeiten viel rascher wärmer als andere, das Wetter könnte zudem wechselhafter werden, Starkregen und Stürme häufiger. Zusammen übersetzt sich das möglicherweise in weniger Wintersport-Spaß, mehr extreme Hitze, häufigeren Sturm und Regen im Sommer und in den Übergangszeiten ausgeprägtes „April-Wetter“.

Neben dem Wohlfühl- oder Spaß-Aspekt gilt es aber auch noch die Auswirkungen auf die Gesundheit zu beachten. Extreme Hitze kann körperlich anstrengend sein – bis hin zur Lebensgefahr besonders bei empfindlichen Menschen (Alte, Kinder). Eine höhere UV- oder Sonneneinstrahlung kann weitere Gesundheitsgefahren bergen (Augen- und Hautschäden). Ein wärmeres Klima bedeutet zudem, dass nicht nur viele Menschen sich wohler fühlen – zumindest in ihrer

Vorstellung; auch die meisten Insekten sind davon begeistert. Das ist im besten Fall einfach nur lästig. Aber auch Gefahren für die Gesundheit können dadurch entstehen: Viele durch Insekten und andere Gliederfüßler übertragene Krankheiten sind bedrohlich.

Letztlich ist der Mensch vom Funktionieren der Natur abhängig. Wenn im schlimmsten Fall eines anhaltenden ungebremsten Klimawandels die großen Stoffkreisläufe so weit gestört würden, dass seine Existenz aufs Spiel gesetzt wäre – etwa durch starke Veränderungen besonders des Kohlendioxid- oder Sauerstoffgehaltes in der Atmosphäre, wäre eine Anpassung schwierig oder gar unmöglich. Als Teil der Natur ist deshalb auch der Mensch vom Artensterben nicht ausgeschlossen.

Schlusswort/Fazit

So dramatisch die Schilderungen im Einzelnen auch zu lesen sein mögen, sie gehen noch nicht auf die größten denkbaren Veränderungen ein. Solche außergewöhnlichen Herausforderungen würden einerseits durch abrupte Klimaänderungen auftreten, andererseits durch das Phänomen der Hysterese, die komplexen, chaotischen Systemen eigen ist.

Abrupte Klimaänderungen sind solche, die so rasch vonstatten gehen, dass sich natürliche oder anthropogene Systeme daran nicht anpassen können und deshalb dadurch einschneidend verändert werden. Was eine abrupte Klimaänderung ist, hängt daher vom betrachteten System ab. Aus der Analyse früherer Klimaschwankungen weiß man, dass sich das Klima innerhalb von Jahrzehnten, ja sogar wenigen Jahren grundlegend ändern kann. Dies tritt besonders dann auf, wenn bestimmte absolute Schwellenwerte oder Änderungsraten überschritten werden, unterhalb derer sich das System selbst stabilisiert. Man beobachtet deswegen solche abrupten Klimaänderungen beim Einschwingen in und noch stärker beim Ausschwingen aus Eiszeiten. So vollzog sich die Hälfte der Erwärmung des Nordatlantiks vom Ende der letzten Eiszeit bis heute innerhalb nur weniger Jahre. Durch solche Phänomene sind starke und kurzfristige

Schwankungen des Klimas der betroffenen Regionen möglich, die Landwirtschaft und industrielle Tätigkeiten dort unmöglich machen. Diese Gebiete wären somit auch für menschliche Siedlungen ungeeignet. Einen Hoffnungsschimmer mag die Tatsache darstellen, dass solche abrupten Schwankungen in ihrer ganzen Heftigkeit auf mehr oder weniger große Regionen beschränkt sind. Es erscheint sehr unwahrscheinlich, dass die gesamte Erde gleichmäßig von abrupten Änderungen betroffen sein könnte.

Das Phänomen der Hysterese beschreibt die Tatsache, dass einerseits der Wechsel zwischen zwei Zuständen nicht nur auf *einem* Übergangspfad möglich ist und deshalb auch das Unterschreiten der zuvor überschrittenen Schwelle, die zum Verlassen des Ursprungszustandes geführt hat, nicht zwangsläufig ausreicht, zu diesem zurück zu kehren. Andererseits könnte es vom neuen Zustand noch Pfade zu weiteren Zuständen geben, die vom Ursprungszustand aus nicht erreichbar waren. Dies könnte im schlimmsten Fall dazu führen, dass der Ursprungszustand, wenn er einmal verlassen wurde, niemals wieder erreichbar ist.

Der Klimawandel hält damit sehr viele Unwägbarkeiten bereit, die für die Menschheit gefährlich sind. Ob er auch zu neuen Chancen führen kann, lässt sich leider erst hinterher beantworten. Grund genug, das Schicksal nicht herauszufordern und lieber heute als morgen mit weiteren konkreten Maßnahmen zu beginnen, den Klimawandel auf das nun unvermeidbare Ausmaß zu beschränken – denn das viel genannte Kyoto-Protokoll wird dazu bei weitem nicht ausreichen. Es kann nur ein erster kleiner Schritt in die richtige Richtung sein.

Die gute Nachricht ist, dass jede Bürgerin, jeder Bürger einen Beitrag dazu leisten kann, das vom Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderung (WBGU) der Bundesregierung formulierte 2-Grad-Ziel zu erreichen (siehe dazu Kasten 2-Grad-Ziel des WBGU). Das Zauberwort hierzu heißt: Energie sparen. Dazu besteht Gelegenheit

- beim Bauen (Stichwort: Passivhaus)
- beim Wohnen (Stichworte: Wärmedämmung, Energie sparende Haushaltsgeräte)
- bei der Mobilität (Stichworte: öffentliche Verkehrsmittel, sparsame Autos, sparsame Fahrweise).

Das 2-Grad-Ziel des WBGU

Welche Emissionen kann das Klimasystem maximal verkraften, sodass es nicht in einen Zustand gelangt, der Menschen vor nicht oder nur schwer lösbare Probleme stellt? Wegen des bisher nicht ausreichenden Verständnisses der vielen Zusammenhänge lässt sich diese Frage derzeit nicht sicher beantworten. Besser, wenn auch nicht einfach, lässt sich eine Antwort auf die Frage finden, welche Temperaturerhöhung denn maximal zulässig ist, ohne die Menschheit in ihrer Abhängigkeit von der Natur vor so große Herausforderungen zu stellen, dass ihre Lösung aussichtslos sein könnte und damit unausweichlich zu massiven Konflikten führte.

Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) hat schon Mitte der 1990er Jahre als Ziel beschrieben, die Temperaturerhöhung auf maximal 2 Grad gegenüber dem vorindustriellen Zustand zu begrenzen. Der WBGU leitete diesen Wert damals empirisch/pragmatisch ab: In den vielen Jahrhunderttausenden, die prägend waren für die Entwicklung des Menschen, war es nie wärmer, als 1,5 Grad über dem vorindustriellen Wert. Eine Erwärmung über diesen Rahmen hinaus läge also außerhalb der menschlichen Erfahrungen. Andererseits geht der WBGU davon aus, dass sich die moderne Industriegesellschaft in gewissem Rahmen auch an einmalige oder neue Herausforderungen anpassen kann. Er hat sich deshalb auf einen Zuschlag von 0,5 Grad auf den historischen Höchststand geeinigt, von dem er glaubt, er sei durch den nun erreichten Entwicklungsstand gerechtfertigt.

Nach und nach wurde das 2-Grad-Ziel aber durch neue Erkenntnisse gestützt, die es nun auch wissenschaftlich absichern. Es ist deshalb heute ein offizielles Ziel sowohl der Bundesregierung als auch der Europäischen Union und wird darüber hinaus auch weltweit anerkannt. Ergänzt wurde das Ziel der maximal zuträglichen Temperaturerhöhung durch eine maximal zuträgliche Änderungsrate von nicht mehr als 0,2 Grad pro Dekade.

Der WBGU betrachtet als Kontrollen für die Wirksamkeit des 2-Grad-Zieles so genannte großräumige singuläre Ereignisse. Wenn der Klimawandel also nur lokal oder regional nicht aber weltweit oder zumindest sehr großräumig zu gravierenden Auswirkungen führt, bedeuten diese zwar für die Menschen in den betroffenen Gebieten eine ernste Gefahr, nicht jedoch für die Menschheit insgesamt.

Als Beispiele für großräumige singuläre Ereignisse führt der WBGU auf:

- Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation
- „Runaway“ Treibhauseffekt
- Veränderung der kontinentalen Monsune
- Zerfall des Westantarktischen Eisschildes
- Gefährdung des Grönlandeises

Die **thermohaline Zirkulation** ist die große Umlaufpumpe der Meere. Sie sorgt für den Energietransport in Nord-/Südrichtung ebenso wie von der Oberfläche in die Tiefe. Sie wird in Gang gehalten durch Dichteunterschiede aufgrund unterschiedlicher Temperatur und Salzgehalt des Wassers (daher **thermohalin**). Neben Energie transportiert sie jedoch auch Nährstoffe, Kohlendioxid und Sauerstoff, die damit in Regionen gebracht werden, in denen ohne die Strömung keine oder nur völlig andere Lebensgemeinschaften existieren könnten. Sie sorgt also für eine ausreichende Kohlendioxidaufnahme aus der Atmosphäre und ist eine Lebensader für die Nahrungskette der Meere.

Wohin ein „**Runaway**“ Treibhauseffekt führt, also eine entfesselte, sich selbst verstärkende Erwärmung, kann man auf unserem Nachbarplaneten, der Venus beobachten. deren Atmosphäre besteht zu über 96 Prozent aus Kohlendioxid und auf der Oberfläche herrscht ein Druck von 90 Bar und eine mittlere Temperatur von 460 Grad – Leben unmöglich. Theoretisch möglich – wenn auch von den meisten Wissenschaftlern für unwahrscheinlich gehalten – würde eine solche Katastrophe durch Rückkopplungsmechanismen wie der Freisetzung von in der Erde und den Meeren gebundenem Methan, dem Abtauen der großen Eisschilde, der Verringerung von großräumigen Strömungen und der Aufnahme von Wasserdampf in der Atmosphäre.

In den durch **kontinentale Monsune** geprägten Ländern fallen bis zu 90 Prozent der Niederschläge durch diese großräumigen Strömungen. Sie sind daher dort eine grundlegende Voraussetzung für die Landwirtschaft. Ihr Ausbleiben oder ihre starke Veränderung stellte die Versorgung von Milliarden Menschen in Frage.

Im Gegensatz zum wesentlich größeren Ostantarktischen, ist das **Westantarktische Eisschild** bereits durch eine moderate Klimaerwärmung bedroht, da es auf abschüssigem Grund ruht und die bremsenden Schelf-Eise zunehmend zerbröseln. Das vollständige Abschmelzen des Westantarktischen-Eises hätte einen Meeresspiegel-Anstieg von rund 6 Metern zur Folge.

Von einem Temperaturanstieg akut bedroht ist das **Grönlandeis**. Erst über eine Schwelle hinaus abgeschmolzen, gäbe es kein Halten mehr: Innerhalb weniger Jahrhunderte könnte es vollständig verschwinden und damit den Meeresspiegel um etwa 7 Meter anheben.