

Bedingt der Klimawandel Katastrophen?

Klimatisch bedingte Katastrophen

Die Versicherungswirtschaft, insbesondere die beiden großen europäischen Rückversicherer Münchner Rück und Swiss Re, publizieren Statistiken, die einen Anstieg der Zahl der naturbedingten Katastrophen um einen Faktor 3 in den letzten 40 Jahren und der Höhe der dadurch verursachten Schäden um einen Faktor 8 ausweisen.¹ Ist dieser Anstieg ein klarer Beleg für den Klimawandel, wie dies von den Medien so häufig dargestellt wird?

Zunächst ist festzustellen, dass zu den naturbedingten Katastrophen auch Erdbeben und Vulkanausbrüche zählen, Ereignisse, die in keinem Zusammenhang mit dem Klimawandel stehen. Aber selbst wenn man diese Ereignisse aus den Statistiken herausrechnet, bleibt ein deutlicher Anstieg von wetterbedingten Schäden in den letzten Jahrzehnten; letztere auch dann, wenn der Geldentwertung Rechnung getragen wird (EEA 2004).

Die Natur kennt keine Katastrophen: ein meteorologisches Ereignis wird erst dann zur Katastrophe, wenn Menschen oder ihre Infrastruktur betroffen sind, d.h. es muss das Wetterereignis an einer Stelle stattfinden, wo es Schaden in diesem Sinne anrichten kann.² Andererseits müssen meteorologische Ereignisse nicht unbedingt extrem sein, um zur Katastrophe zu führen: Der Wetterumschwung am Nachmittag des 10. Mai 1996 am Mount Everest war als Schlechtwettereinbruch nicht ungewöhnlich, und doch kostete er acht Menschen das Leben, die höchste Opferzahl auf diesem Berg, die ein einziger Tag je forderte. Er folgte auf einen strahlend schönen Tag, zu einer Zeit, da die meisten der 24 Bergsteiger, die an diesem Tag versuchten, den

höchsten Gipfel der Welt zu bezwingen, diesen schon in greifbarer Nähe wähten und einige in dem Bestreben, ein lange gehegtes Ziel zu erreichen, weder der aufkommenden Bewölkung noch der fortgeschrittenen Zeit die gebührende Beachtung schenkten.

Die Wechselhaftigkeit des Wetters und die Variabilität des Klimas werden immer wieder unterschätzt. Standorte oder Gebiete, an denen seit mehreren Jahren oder Jahrzehnten keine Lawine abgegangen ist oder kein Hochwasser aufgetreten ist, sind deswegen nicht sicher vor Lawinen oder Hochwasser. Blieb New Orleans über viele Jahre vor 2005 (als Hurrikan Katrina es zerstörte) von intensiven Hurrikans verschont, so ließ sich – auch ohne Klimawandel – daraus nicht ableiten, dass dies auch in Zukunft so sein muss.

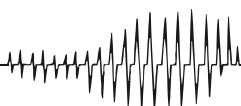
Immer häufiger führen „normale“ meteorologische Ereignisse zu Katastrophen, weil sich die Randbedingungen geändert haben: versiegelte Böden nehmen weniger Niederschlagswasser auf, und fehlende Retentionsbecken lassen Bäche und Flüsse plötzlich anschwellen, die vor der intensiven und unüberlegten Nutzung der Landschaft weder so rasch noch in diesem Ausmaß auf Niederschlag reagierten.

Die Wahrscheinlichkeit, dass Wetterereignisse zu Katastrophen führen, wächst naturgemäß, wenn Wetterereignisse extremer Ausmaße oder Intensitäten häufiger auftreten, oder wenn Extreme auftreten, die bisher nicht beobachtet wurden.

Hinter den bisher diskutierten Katastrophen standen immer eher einzelne, spezielle Wettererscheinungen: Starkniederschläge, ein Wetterumschwung, ein Hurrikan usw. Es gibt jedoch auch klimatische Veränderungen, die nicht mit entscheidenden

¹ Siehe auch A. Wirtz „Die Entwicklung von Naturkatastrophen seit 1950“ in diesem Heft.

² Siehe G. Ossimitz, C. Lapp „Katastrophen – Systemisch betrachtet“ in diesem Heft.



Treibhauseffekt

Das Klima der Erde wird von der Sonneneinstrahlung in Wechselwirkung mit der Beschaffenheit der Erdoberfläche und den meteorologischen Vorgängen in der Lufthülle der Erde bestimmt. Die Erdoberfläche und die Atmosphäre werden durch kurzwellige Sonneneinstrahlung erwärmt und strahlen Energie in Form langwelliger Strahlung ab. Dreiatomige Gase, wie Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan u.a., die sogenannten Treibhausgase, lassen die kurzwellige Strahlung der Sonne weitgehend ungehindert durch und absorbieren die langwellige Abstrahlung der Erde. Das führt zur Klimaerwärmung durch den Treibhauseffekt.

Einzelereignissen einhergehen, sondern zu kontinuierlichen, sogar schleichenden Veränderungen führen, die letzten Endes die Anpassungsfähigkeit von Systemen übersteigen und zu Katastrophen führen. Diese Katastrophen spielen sich nicht innerhalb weniger Tage ab, sondern können sich über Jahre hinziehen. Ein krasses Beispiel wäre die zunehmende Vergletscherung beim Übergang zu Eiszeiten: Im Lebensraum von Menschen, aber auch von Ökosystemen wird es immer kälter, bis das Gebiet – spätestens infolge von Vergletscherung – nicht mehr bewohnbar ist und die Menschen aussiedeln müssen. Die nicht beweglichen Komponenten der Ökosysteme gehen zugrunde, Arten sterben aus.

Grundzüge des Klimawandels

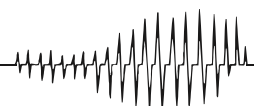
Es besteht kein Zweifel mehr, dass weltweit eine Änderung des Klimas stattfindet. Die Temperatur ist im letzten Jahrhundert im globalen Mittel um etwa $0,6^{\circ}\text{C}$ gestiegen, wobei dieser Anstieg der rascheste der letzten 1.000 Jahre ist und die erreichten Temperaturen die höchsten in diesem Zeitraum sind (IPCC 2001). Die im Alpenraum bisher gemessenen Änderungen zeigen, dass die Auswirkungen im alpinen Raum stärker ausgeprägt sind, als im globalen oder europäischen Maßstab. In Österreich

war z.B. der Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert mit $+1,1^{\circ}\text{C}$ (Sommerhalbjahr $+1,2^{\circ}\text{C}$, Winterhalbjahr $+1,0^{\circ}\text{C}$) höher als im globalen oder hemisphärischen Mittel. Noch rascher schreitet die Erwärmung etwa in Alaska fort, wo bereits $4\text{-}5^{\circ}\text{C}$ Erwärmung beobachtet werden.

Der globale Klimawandel ist nicht auf den Temperaturanstieg beschränkt: zahlreiche andere, darunter nicht weniger wichtige Klimagrößen verändern sich ebenfalls. So ergeben sich z.B. sowohl global als auch regional wesentliche Änderungen von Menge, Häufigkeit, Intensität und Art des Niederschlags. Veränderungen der Niederschlagsmenge bzw. -intensität sind nicht nur für die Vegetation wichtig, sie können auch das Abflussverhalten der Flüsse und damit das Hochwasserrisiko direkt beeinflussen.

Global betrachtet wird der hydrologische Zyklus beschleunigt, d.h. durch den Temperaturanstieg, vor allem durch den Anstieg der Meerestemperatur, nimmt die Verdunstung zu und diese vermehrte Verdunstung führt zu vermehrtem Niederschlag. Einer wärmeren Atmosphäre steht auch mehr Wasserdampf und damit auch mehr Energie zur Verfügung. Die Umsetzung dieser allgemeinen Überlegungen in quantitative Aussagen zu den Veränderungen des Niederschlagsverhaltens ist allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden. Wo der vermehrte Niederschlag ausfällt, und wo und ob sich der höhere Wasserdampf- und Energiegehalt der Atmosphäre durch eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten und Extremereignisse auswirken, hängt nämlich direkt mit der Luftdruck- und Luftmassenverteilung zusammen. Globale Betrachtungen zur Veränderung der Niederschlagstätigkeit können daher nicht direkt auf die regionalen Veränderungen übertragen werden.

Die bisherigen Beobachtungen belegen diese Inhomogenität: In den mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre nehmen



die Niederschläge zu. Dies geht mit häufigerem Auftreten von Starkniederschlägen einher (IPCC 2001). Im alpinen Raum trifft dies vor allem für den westlichen Teil zu – in der West- und Nordschweiz wurde z.B. bis zu 40 % Niederschlagszunahme im Winter registriert (Widmann und Schär 1997). Im südalpinen Raum und im Osten Österreichs ist hingegen eher ein Rückgang der Niederschlagsmengen festzustellen (Auer et al. 2001). Der Anteil der sogenannten Starkniederschläge, d.h. Ereignisse mit mehr als 20 mm Niederschlag, hat im Westen Österreichs (Feldkirch) in den letzten 50 Jahren um etwa 50 % zugenommen, während sich im Osten (Wien) praktisch keine Veränderung zeigt. Trockenperioden nehmen an etwa einem Drittel der österreichischen Stationen zu, an einem Drittel ab und an den übrigen ist kein Trend festzustellen. Ein konsistentes räumliches Muster lässt sich nicht erkennen (Auer et al. 2005).

Das Klimasystem und seine bisherige Entwicklung kann mit sogenannten Klimamodellen (englisch: Global Climate Model, GCM), der mathematischen Zusammenfassung des physikalischen Verständnisses der Klimaprozesse, bereits erstaunlich gut beschrieben werden. Mit denselben Modellen können auch zukünftige Entwicklungen berechnet werden, allerdings muss man Annahmen hinsichtlich der Rahmenbedingungen treffen (man spricht von Szenarien): die globale Bevölkerungsentwicklung, die Wirtschafts- und Technologieentwicklung, usw. bestimmen die künftigen Treibhausgasemissionen und in weiterer Folge deren Konzentrationen in der Atmosphäre. Szenarienberechnungen für 2100 lassen CO₂-Konzentrationen zwischen 550 und 950 ppm³ erwarten. Dementsprechend wird die beobachtete Erwärmung nach bisherigen Erkenntnissen über das 21. Jahrhundert hinaus anhalten. Je nachdem wie erfolgreich die Reduktionsmaßnahmen für

Treibhausgase sind, ist mit einer globalen Temperaturerhöhung von 1,4 bis 5,8°C in den nächsten 100 Jahren zu rechnen (IPCC 2001).

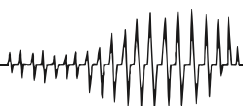
Aufgrund ihrer groben räumlichen Auflösung sind die derzeitigen GCMs nur in der Lage, Phänomene mit einer räumlichen Ausdehnung von größer als 5.000 km und einer zeitlichen Periode von mindestens 30 Jahren sowohl in ihrem mittleren Zustand als auch in ihrer Variabilität zu reproduzieren. In dem topographisch sehr stark gegliederten Gelände der Alpen ist diese räumliche Auflösung unzureichend, da alle orographisch verursachten oder verstärkten Wettererscheinungen nur grob parametrisiert oder gar nicht berücksichtigt werden können. Um dennoch zu regionalen Aussagen aus den GCM-Szenarios zu gelangen, wurden und werden seit Beginn der 1990er-Jahre verschiedene Regionalisierungs- (Downscaling-) Verfahren entwickelt. Genestete (d.h. in globale eingebettete) Regionalmodelle, statistische Verfahren und synoptische Ansätze – gezielt nach Fragestellung eingesetzt – haben sich als zielführend erwiesen.

Extremereignisse

Statistisch signifikante Trends in der Häufigkeit von Extremereignissen festzustellen, ist aufgrund der Seltenheit dieser Ereignisse naturgemäß schwierig. Man kann sich dem Problem annähern, indem man das betrachtete Gebiet erweitert oder die Schwellenwerte in der Definition der Ereignisse herabsetzt, um eine größere Stichprobe zu gewinnen; man kann statistische Überlegungen allgemeiner Art anstellen; man kann Detailanalysen einzelner Fälle durchführen und physikalische Plausibilitätsüberlegungen heranziehen.

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung geben die globalen Klimamodelle in den

³ ppm: parts per million, Teile pro Million



meisten Fällen keine hinreichend gute Auskunft, weil viele Extremereignisse in Zusammenhang mit eher kleinräumigen meteorologischen Prozessen stehen, die von den globalen Klimamodellen noch nicht gut genug erfasst werden.

Hitzeperioden

Tritt im Zuge des Klimawandels eine Erwärmung ein, so kann in erster Näherung angenommen werden, dass sich die gesamte Temperaturverteilung in Richtung höherer Temperaturen verschiebt: der Mittelwert steigt, die kalten Tage werden seltener, die heißen häufiger und es treten bisher nicht beobachtete Hitzeextreme auf. Die Klimaänderung kann aber auch zu einer Erhöhung der Varianz führen, d.h. die Abweichungen vom Durchschnittswert werden größer. Das künftige Klima dürfte durch eine Kombination beider Effekte bestimmt werden, kalte Tage werden zwar seltener, aber sie verschwinden nicht ganz, heiße Tage werden noch häufiger und neue Spitzenwerte sind zu erwarten.

Die Häufigkeitsverteilungen der Maximaltemperaturen in Wien 1900 bis 1950 und 1951 bis 2000 zeigen die Verschiebung, nicht aber die Varianzerhöhung. Modellberechnungen lassen aber für die Zukunft auch Varianzerhöhungen erwarten, möglicherweise könnten diese sogar zum wichtigeren Effekt werden. Für Mitteleuropa kann man z.B. ableiten: Die Temperaturen werden weiter steigen, Hitzeperioden, wie sie derzeit etwa einmal in 10 Jahren vorkommen, könnten in 80 Jahren in Europa die Regel sein – nur in einem von 10 Jahren dürften sie ausbleiben (Schär et al. 2004).

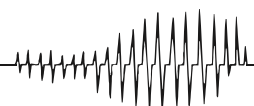
In Österreich zeigen die Szenarien innerhalb von 30 Jahren einen Anstieg von derzeit unter zehn Hitzetagen pro Jahr (Mittel über den Nordosten Österreichs) auf rund 30 Tage. Für den Zeitraum 2070-2100 ergeben sich über 40 Hitzetage. Aufgrund der erwarteten Zunahme der Schwankungsbreite könnten in der Periode 2070 bis 2100 Sommer mit bis zu 80 Hitztagen

auftreten. Selbst die kühlest Sommer werden mit etwa zehn Hitzetagen dann noch über dem derzeitigen Mittelwert liegen (Formayer et al. 2005).

Das Extremjahr 2003 bot Gelegenheit, die Auswirkungen von Hitze genauer abzuschätzen. Besonders dramatisch war die Auswirkung der Hitze in Frankreich: In Paris (EEA 2004) stieg die Tageshöchsttemperatur Anfang August auf über 30°C und sank auch in der Nacht nicht mehr unter 25°C. Ab etwa 5. August nahm die Sterberate signifikant zu. Vom 6. - 12.8. bewegte sich die Maximaltemperatur zwischen 37 und 40°C. Am 13.8., zum zweiten Höhepunkt der Hitzewelle, wurde die höchste Sterberate mit über 400 Fällen gegenüber 30-50 im langjährigen Schnitt verzeichnet. In ganz Frankreich wird die Zahl der Todesopfer mit 15.000 angegeben, für Europa variieren die publizierten Zahlen zwischen 25.000 und 60.000 Toten. Gemessen an der Zahl der Toten war der Sommer 2003 eine der schlimmsten Wetterkatastrophen in Europa überhaupt, sie blieb aber von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkt, da ihr der spektakuläre Charakter von Überschwemmungen oder gar tropischen Wirbelstürmen fehlte.

Hochwasser

Der globale Klimawandel führt zu Änderungen von Menge, Häufigkeit, Intensität und Art des Niederschlags. Dies kann das Abflussverhalten der Flüsse und damit das Hochwasserrisiko direkt beeinflussen. Nach den GCM-Berechnungen muss man bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Alpenraum mit einer Niederschlagszunahme in den Wintermonaten von etwa 15 - 40 % rechnen, wobei die Zunahme im Februar am ausgeprägtesten sein wird. In den Sommermonaten hingegen muss man mit einer Abnahme des Niederschlags von 10 - 50 % rechnen, mit einem Höhepunkt der Abnahme im August. Bei Starkniederschlägen im Winter, die ja meist über mehrere Tage hinweg fallen, ergibt sich eine



deutliche Zunahme. Im Sommer nimmt die Wahrscheinlichkeit für Einzeltage mit hohen Niederschlagsmengen zu, obwohl die Monatssummen abnehmen. Speziell im Sommer ist daher auch mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität zu rechnen (Frei et al. 2006). Die globalen Klimamodelle (GCMs) und auch die mit größerer räumlichen Auflösung versehenen regionalen Klimamodelle, die in die Globalen eingebettet (genestet) werden, erfassen vor allem die großräumigeren Vorgänge (Frontalsysteme, Stau und Aufgleiten an Gebirgen). Die kleinräumigen Gewitter können noch nicht mit der erforderlichen Verlässlichkeit erfasst werden und sind daher z.B. bei obigen Zukunftsszenarien nicht berücksichtigt.

Für die künftige Entwicklung der Hochwassergefahr in Österreich spielen drei meteorologische Risikofaktoren eine besondere Rolle: Veränderungen großflächiger Hochwasserauslöser, insbesondere die sogenannten Vb-Wetterlagen (Genuazyklonen, siehe unten); Erhöhung der Schneefallgrenze und Veränderung der Häufigkeit von kleinräumigen Starkniederschlägen (Gewitter).

Es sei jedoch vorweg darauf hingewiesen, dass aus Klimaänderungsszenarien nur die Veränderung der meteorologischen Bedingungen und eventuell indirekte Effekte auf die Vegetation ableitbar sind. Bei Hochwasserereignissen spielen aber auch nichtmeteorologische Faktoren, wie Landnutzungsänderungen, die das Abflussverhalten des Einzugsgebietes verändern, oder Raumordnungsregelungen, welche die Bebauung regeln, eine wesentliche Rolle (siehe z.B. die Forschungsprogramme FloodRisk⁴ und StartClim⁵). Eine Erhöhung des Hochwasserrisikos führt daher keineswegs zwingend zu mehr Hochwasserereignissen.

Großflächige Hochwasserereignisse in Österreich sind häufig mit sogenannten Vb- oder Vb-ähnlichen Wetterlagen verbunden, das sind Situationen, bei denen ein Tiefdruckgebiet aus dem Mittelmeerraum (meist aus dem Golf von Genua) im Laufe von 2 bis 3 Tagen über ganz Österreich zieht. Die größten Niederschlagsintensitäten treten zuerst im Süden und Osten auf und gegen Schluss auf der Alpennordseite. Je nach genauer Lage des Kerns des Tiefs liegen die Niederschlagsmaxima an der Alpennordseite weiter westlich bzw. weiter östlich. So war etwa das Niederschlagszentrum beim Hochwasser 2002 in Österreich in Ober- und Niederösterreich, bei den Ereignissen 1999 und 2005 hingegen in Tirol und Vorarlberg.⁶

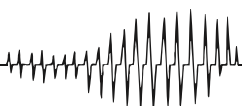
Die Aussagen in Klimaänderungsszenarien sind hinsichtlich Vb-Lagen nicht ganz eindeutig. Ein plausibles Zukunftsszenario ist eine Abnahme der Häufigkeit, derzeit rund 10-15 Ereignisse pro Jahr, aber eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten bei diesen Wetterlagen, d.h. eine Zunahme des Hochwasserrisikos. Besonders niederschlagsintensiv sind Vb-Lagen im Sommer, da hier feuchtwarme Luftmassen mit enormen Wassermengen zu den Alpen transportiert werden. Sollte sich der Trend des letzten Jahrzehnts mit dem häufigeren Auftreten von Vb-Lagen im Sommer fortsetzen, würde dies das Hochwasserrisiko weiter ansteigen lassen. Davon können praktisch alle Flüsse – bis hin zur Donau – betroffen sein.

Durch die Erwärmung wird in Zukunft ein deutlich geringerer Anteil am Gesamtniederschlag als Schnee fallen. Die Kombination – Anstieg der Schneefallgrenze und Niederschlagszunahme im Winter – erhöht das Hochwasserrisiko im Tiefland und im Alpenvorland in dieser Jahreszeit zweifach.

⁴ <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/klima/projekte/floodrisk/> [6.12.2006]

⁵ <http://www.austroclim.at/index.php?id=40> [6.12.2006]

⁶ Siehe H. Habersack, H. Stiefelmeyer, J. Bürgel „Lehren aus den Hochwässern 2002 und 2005“ in diesem Heft.



In hochalpinen Einzugsgebieten wirkt sich dieser Anstieg der Schneefallgrenze selbst im Sommer noch als risikosteigernd aus. Besonders betroffen vom Anstieg der Schneefallgrenze sind Höhenlagen zwischen 500 m und 2.000 m Seehöhe. Dies betrifft z.B. die Mühl in Oberösterreich, für die sich das Hochwasserrisiko im Winter und Frühjahr deutlich erhöht.

In kleinen Einzugsgebieten können Hochwasserereignisse durch Gewitter ausgelöst werden. Die größte Wahrscheinlichkeit für Gewitter ist im Alpenvorland gegeben. Die Flächen, die durch derartige Gewitter beregnet werden, sind in der Größenordnung von 10 – 100 km². Daher sind hier besonders Einzugsgebiete dieser Größe betroffen, bzw. die Oberläufe von größeren Einzugsgebieten. Aus den modellierten Klimaänderungsszenarien können keine direkten Informationen über die Entwicklung der Gewittertätigkeit gewonnen werden. Aus physikalischen Überlegungen scheint jedoch eine Zunahme zumindest der Niederschlagsintensität bei Gewittern sehr wahrscheinlich. Eine derartige Zunahme würde sich natürlich in jenen Regionen am stärksten auswirken, an denen bereits heute besonders viele Gewitter vorkommen. Betroffen könnten hiervon z.B. die Steyr und ihre Zubringer sein.

Der deutliche Temperaturanstieg im Sommer bei gleichzeitiger Niederschlagsverlagerung aus der Vegetationsperiode in den Winter wird die alpine Vegetation, insbesondere die Wälder, stark beanspruchen. Sollte es zu großräumigen Vegetationsverschiebungen kommen, wird sich auch das Abflussverhalten, speziell alpiner Einzugsgebiete, verändern. Zusätzlich könnte auch die Erosion durch veränderte Vegetation und Zunahme der Niederschlagsintensität erhöht werden, was nicht nur die Murenabgänge und den Geschiebeanteil bei Hochwassersituationen erhöht, sondern auch die Wasserspeicherung der Böden nachhaltig reduzieren würde.

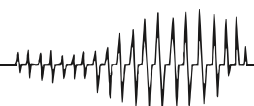
Manche Einzugsgebiete, vor allem kleine sind von mehreren dieser Effekte betroffen. Eine Überlagerung der Schneeschmelze mit intensiven Niederschlägen kann sich auch auf größere Einzugsgebiete auswirken. Veränderungen der Vb-Wetterlagen wirken sich großflächig aus und selbst an der Donau kann es dabei zu Hochwasser kommen.

Naturgefahren im Gebirge

Mit wenigen Ausnahmen gehen Gletscher und Vereisung zurück. In Österreich werden seit Anfang des 20. Jahrhunderts an rund 100 Gletschern kontinuierliche Längenänderungsbeobachtungen und an einigen Gletschern seit 1952 Massenbilanzbestimmungen durchgeführt. Die Zeitreihen belegen spätestens seit Beginn der 1980er-Jahre deutlich den Rückgang der Gletscher.

Permafrostböden sind in den Alpen ab etwa 2.400 m Höhe möglich und über 3.000 m ziemlich sicher vorhanden. Die Untergrenze des Permafrostbereichs ist in den letzten 100 Jahren in der Schweiz um ca. 150 m - 250 m gestiegen (Bader und Kunz 1998). Skilifte oder Lawinenverbauungen, die in diesen Böden verankert sind, verlieren an Stabilität. Auch der Gipfelaufbau des Hohen Sonnblicks in Salzburg, auf dem das meteorologische Sonnblick-Observatorium liegt, ist infolge der Erwärmung instabil geworden und musste mit technischen Maßnahmen stabilisiert werden.

Für das Corvatsch-Furtschellas-Gebiet in der Schweiz wurde berechnet, dass in etwa 100 Jahren bei 3°C Erwärmung 70 % des Permafrostgebietes aufgetaut, und die Gletscher völlig verschwunden sein werden. Die Gleichgewichtslinie der Gletscher wird um 150 - 350 m ansteigen und die Permafrostgrenze um 200 - 750 m (Bader und Kunz 1998). Der Vernagt-Gletscher wird bis 2005 in mehrere unzusammenhängende Gletscher und Toteisflecken zerfallen und bis 2100 möglicherweise vollständig verschwinden.



Der Rückzug der Gletscher und das Auftauen von Permafrost verursachen erhöhte Felssturz- und Murentätigkeit. Vor allem an sonnenabgewandten Hängen in höheren Lagen kommt es zu Auftauvorgängen, die in den letzten Jahren einzelne Felsbrocken absprengten, aber auch ganze Felsstürze – wie etwa 2006 aus der Ostflanke des Eigers – auslösten. Von diesen Entwicklungen sind Infrastrukturen, aber auch Siedlungsgebiete bedroht. In solchen Phasen der Instabilität können auch Gletscherseen eine besondere Gefahr darstellen: zum einen können sie zu größeren Volumina anwachsen, zum anderen können durch die größeren Massen oder durch Felsstürze die stauenden Strukturen (Eis oder Fels) gefährdet werden.

Schwieriger ist es, zu eindeutigen Aussagen hinsichtlich der Lawinengefahr im Gebirge zu kommen. Die Zunahme der Starkschneefälle sowie eine mögliche Zunahme der Windgeschwindigkeiten könnten die Lawinengefahr erhöhen. Andererseits geht die Andauer der Schneedecke in tiefer gelegenen Regionen deutlich zurück und die Zahl schneearmer Winter wird zunehmen. Man muss daher davon ausgehen, dass es eine Verschiebung in der Lawinengefährdung geben wird, deren konkrete Ausgestaltung aber noch genauerer Untersuchungen bedarf. Im Lichte der Bestrebungen immer höhere, weil schneesicherere Gebiete für den Tourismus zu erschließen, kann keinesfalls eine Entwarnung für Lawinen gegeben werden.

Stürme

Die Zunahme der Zahl und Intensität von Stürmen in Europa aufgrund des Klimawandels ist nicht eindeutig belegt. Zweifellos steigen die Sturmschäden und Sturmtiefs wie „Lothar“, das Ende Dezember 1999 quer durch Europa großen Schaden anrichtete, sind deutlich in Erinnerung. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) spricht von einer Zunahme von

Stürmen an der Nordatlantikküste, auch Beobachtungen an den Küsten Englands und an manchen Stationen in Deutschland weisen in diese Richtung.

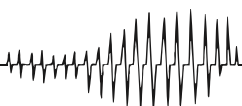
Der Hurrikan Katrina, der 2005 New Orleans zerstörte, hat eine Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten ausgelöst, die bestätigten, was vor diesem Ereignis noch kontrovers diskutiert wurde: Das „Zerstörungspotential“ von tropischen Wirbelstürmen (Hurrikans) steht in engem Zusammenhang mit der Oberflächentemperatur des Meeres, über welches sich die Stürme bewegen, da sie ihre Energie im Wesentlichen aus den warmen Oberflächenwässern beziehen. Die Meeresoberflächentemperatur zeigt einen deutlichen Anstieg, der weitgehend auf den Klimawandel zurückzuführen ist. Der tatsächliche Schaden, den die Wirbelstürme anrichten, hängt natürlich auch von den Zufälligkeiten ihrer Bahn ab.

Schleichender und abrupter Klimawandel

Wie eingangs ausgeführt, gibt es auch klimatische Veränderungen, die nicht mit einschneidenden Einzelereignissen einhergehen, sondern kontinuierlich, sogar schleichend vor sich gehen, aber doch letzten Endes die Anpassungsfähigkeit von Systemen übersteigen und zu Katastrophen führen. Ein typisches Beispiel ist der Trockenstress, dem die Vegetation ausgesetzt ist, wenn hitzebedingt erhöhte Verdunstung und Evapotranspiration⁷ zu verstärktem Wasserverlust führen, und möglicherweise gleichzeitig der Niederschlag über längere Zeit ausbleibt. Anders als bei Überschwemmungen gibt es keinen offenkundigen Zeitpunkt, da die Katastrophe einsetzt: die Normalität geht allmählich in Abnormalität, Mangel in Hungersnot über.

Noch langsamer als Dürre und Versteppung bzw. Wüstenbildung geht der Anstieg

⁷ Verdunstung aus der Pflanzenwelt



des Meeresspiegels infolge der thermischen Ausdehnung der sich erwärmenden Ozeane und des Schmelzens von landgebundenem Eis vor sich. Viel bedeutender als der Rückgang der Gebirgsgletscher ist das Schmelzen der polaren Eismassen. Im nördlichen Polarmeer gehen die winterliche Packeisgrenze und die Eisdicke zurück, auch in Grönland verliert die Eisdecke an Mächtigkeit und Ausdehnung – bis zu 70 m Dickenverlust in 5 Jahren in den küstennahen Bereichen. Oberflächenschmelzwasser dringt zum Gletscherboden durch und beschleunigt die Gletscherbewegung und das Kalben ins Meer. In der Antarktis, am Larsen B Shelf, dürften warme Winde zum oberflächlichen Schmelzen des Eises führen. Das Schmelzwasser dringt in Gletscherspalten ein und hat bereits mehrmals riesige Eisblöcke abgespaltet.

Der Anstieg des Meeresspiegels scheint sich aufgrund des raschen Abschmelzens polarer Gletscher zu beschleunigen. Er könnte bei 3°C globaler Erwärmung bis zu 5 m erreichen. Dann würden Gebiete, in denen derzeit rund 200 Mio. Menschen leben, vom Meer überflutet werden. Obwohl diese Änderung eine sehr langsame ist, handelt es sich um eine Katastrophe von einer nicht mehr beherrschbaren Dimension.

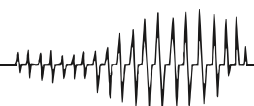
Schließlich sind noch die sogenannten „abrupte Klimaänderungen“ zu nennen, d.h. dramatische Änderungen, die in kurzen Zeiträumen eintreten könnten – allerdings erst in entfernterer Zukunft. Dazu zählt etwa, dass der Golfstrom infolge übermäßiger Süßwasserzufuhr durch schmelzendes Polareis zum Erliegen kommt. Man geht derzeit davon aus, dass die Auslösebedingungen für einen derartigen Prozess frühestens um die Jahrhundertwende erreicht werden. Dann allerdings könnte es innerhalb weniger Jahrzehnte zu einer Abkühlung um mehrere Grad Celsius in Europa und Teilen Nordamerikas kommen.

Schutzmaßnahmen

Das IPCC konnte 2001 auf der Basis vergleichender Modellberechnungen zeigen, dass der Großteil der beobachteten Erwärmung der letzten 50 Jahre der übermäßigen Freisetzung von Treibhausgasen durch den Menschen zuzuschreiben ist. Dies impliziert, dass es auch in der Hand des Menschen liegt, die weitere Klimaentwicklung zu beeinflussen – sofern nicht bereits ein Punkt überschritten ist, der die Eingriffe wirkungslos machen würde, wofür es aber derzeit keine Anhaltspunkte gibt.

Daher gebietet schon der Selbstschutz, Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels zu ergreifen. Dabei geht es einerseits um Maßnahmen, die helfen sollen, die ganz großen Klimakatastrophen zu vermeiden, und andererseits um Maßnahmen zur Anpassung an die schon unvermeidbar gewordenen Klimaänderungen. Die Kosten bis Mitte des Jahrhunderts allein für Extremereignisse werden mit bis zu 1 % des globalen Brutto Inlandsprodukts (BIP) beziffert; Investition derselben Höhe in Minderungsmaßnahmen könnten spätere Klimaschäden in zehnfacher Höhe verhindern (Stern 2006).

Zur ersten Kategorie von Maßnahmen, die alle in einer signifikanten Reduktion der Emission von Treibhausgasen münden, gehört es, den Bedarf für energie- und emissionsintensive Güter und Leistungen zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und zur Energie- und Wärmeerzeugung sowie im Transport Technologien mit geringeren Kohlenstoffemissionen zu verwenden. Insgesamt müssen die Treibhausgasemissionen innerhalb der nächsten 50 Jahre um 60 - 80 % gesenkt werden. Maßnahmen, die an der Wurzel ansetzen, ist der Vorzug zu geben vor End-of-Pipe-Lösungen, wie etwa der Tiefenlagerung (Sequestrierung) von Kohlendioxid in ausgeförderten Erdöl oder Erdgaslagern. Die Weichen für einen nachhaltigen Umgang mit Energie müssen gestellt werden; die derzeit gerne propa-



gierte Kernenergie gehört aus mehreren Gründen nicht zu den nachhaltigen Energieformen (Forum für Atomfragen 2006).

Gleichzeitig müssen sich Ökosysteme, Wirtschaft und Gesellschaft an das in Veränderung befindliche Klima anpassen. Die Klimaänderungen der nächsten 50 Jahre sind wegen der Trägheit des Systems bereits unausweichlich und innerhalb dieser Zeitspanne durch jetzt getroffene Minderungsmaßnahmen nicht mehr beeinflussbar. Für die erforderliche Anpassung ist jeweils die lokale Ausprägung des globalen Klimawandels ausschlaggebend. Dies bedeutet, dass man zu erkennen trachten muss, wie sich regionale Klimaänderungen, bzw. die konkreten Bedingungen am jeweiligen Standort derzeit gestalten und wie sie sich in 10, 20, 50 oder 100 Jahren – je nach Langlebigkeit der Investition oder Reichweite der Entscheidung – auswirken können. Dabei sind auch nicht-klimatische Veränderungen zu beachten; insbesondere sind aber Wechselwirkungen und Synergien mit Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen zu betrachten. Untätigkeit und Investitionen in nicht nachhaltige Lösungen drohen zu irreversiblen Schäden und hohen Kosten zu führen.

Eine spezielle Form der Anpassungsmaßnahmen sind die Schutzmaßnahmen vor Katastrophen. Sie müssen sich an dem Ausmaß und der Intensität von Wetterereignissen in den kommenden Jahrzehnten, nicht an den vergangenen oder gegenwärtigen orientieren, sollen sie längerfristig Schutz bieten können. Zugleich ist zu beachten, dass Schutzmaßnahmen häufig dazu führen, dass in deren (vermeintlichem) Schutz wichtige oder umfangreiche Infrastruktur angesiedelt wird, deren Betroffenheit bei Versagen der Schutzeinrichtung das Ereignis erst zur Katastrophe macht. Beispiele sind Dämme oder Lawinenverbauungen, in deren Schutz ganze Siedlungen entstehen, die sonst an dieser Stelle nie gebaut worden wären. Das Versagen von Schutz-

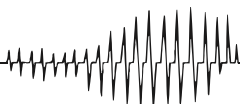
maßnahmen kann darauf zurückzuführen sein, dass sie für diese extremen Situationen nicht ausgelegt waren, oder dass sie durch Alterungsprozesse oder andere Veränderungen, wie etwa das Auftauen von Permafrostböden, nicht mehr die Funktionalität haben, die eigentlich von ihnen erwartet wird.

Offene Frage(n)

Es gibt viele offene Fragen in Zusammenhang mit dem Klimawandel, seinen Ursachen und Auswirkungen. Aber nach all den Erkenntnissen, die in den letzten zwei Jahren zum Klimawandel und seinem enormen Potential für Katastrophen kurz-, mittel- und langfristig gewonnen wurden, ist die eigentlich offene Frage, warum so wenig zur Minderung und zur Anpassung getan wird. Wie erklärt sich die ständig wachsende Kluft zwischen Verständnis von Bedeutung und Dringlichkeit des Problems und Reaktion der Einzelnen, der Wirtschaft und der nationalen und internationalen Politik?

Helga Kromp-Kolb, Vorstand des Institutes für Meteorologie, Department für Wasser - Atmosphäre - Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien.

E-mail: helga.kromp-kolb@boku.ac.at



Literatur- und Quellenhinweise:

Auer I., Böhm R., Schöner W. (2001): Austrian Long-Term Climate - Multiple Instrumental Climate Series from Central Europe. Österr. Beitrag zu Meteorologie und Geophysik, Heft 25

Auer, I., E. Korus, R. Böhm, W. Schöner (2005): Analyse von Hitze- und Dürreperioden in Österreich Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Endbericht von StartClim2004.B
<http://www.austroclim.at/startclim>

Bader, S., Kunz, P. (1998): Klimarisiken-Herausforderung für die Schweiz. Schlussbericht des Nationalen Forschungsprojektes 31. v/dlf Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich

EEA, European Environment Agency (2004): Impacts of Europe's changing climate. Report 2/2004 <http://www.eea.eu.int>

Formayer, H., Haas, P., Matulla, C., Frank, A., Seibert, P. (2005): Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. In: StartClim2004, Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich <http://www.austroclim.at/index.php?id=startclim2004> [03.11.2006]

Forum für Atomfragen (2006): Kernenergie, Klimaschutz und Nachhaltigkeit. Ein Argumentarium des Forum für Atomfragen. BMLFUW Wien (in Druck)

Frei C, Schöll R, Fukutome S, Schmidli J, Vidale, P.L. (2006) Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research* 111(d6), D06105

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Climate Change: the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge UK

Kromp-Kolb, H. Formayer, H. (2005): Schwarzbuch Klimawandel. Ecowin Verlag, Salzburg

Schär, Ch., P. L. Vidale, D. Lüthi, Ch. Frei, Ch. Häberli, M.A. Liniger, Appenzeller, Ch. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. *Nature*, Vol. 427, pp. 332-336

Stern N. (2006): The Economics of Climate Change. http://www.hm-treasury.gov.uk/Independent_Reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm [6.12.2006]

Widmann, M. Schär, C. (1997): A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. *Int. J. of. Climatology*, Vol. 17, pp. 1333-1356

