

# Was wir über den globalen Klimawandel wissen

Meteorologische Messungen und Beobachtungen der unbelebten und der belebten Natur belegen, dass sich das Klima ändert. Nach dem derzeitigen Wissen, d.h. auf der Basis der besten heute verfügbaren Modelle, lassen sich diese Änderungen durch den anthropogenen Einfluss vor allem auf die Zusammensetzung der Atmosphäre weitgehend erklären. Modellberechnungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung sind noch mit großen Unsicherheiten behaftet, lassen aber eine Erwärmung und das vermehrte Auftreten von Extremereignissen erwarten. Der Alpenraum zählt zu den gegenüber Klimaänderungen empfindlicheren Gebieten, einerseits weil die Änderungen hier stärker ausgeprägt sein können und andererseits weil empfindlichere Systeme betroffen sind.

**Schlüsselworte:** Klimawandel, Globale Erwärmung, Auswirkungen auf Österreich

## Klimabedingt ändert sich vieles

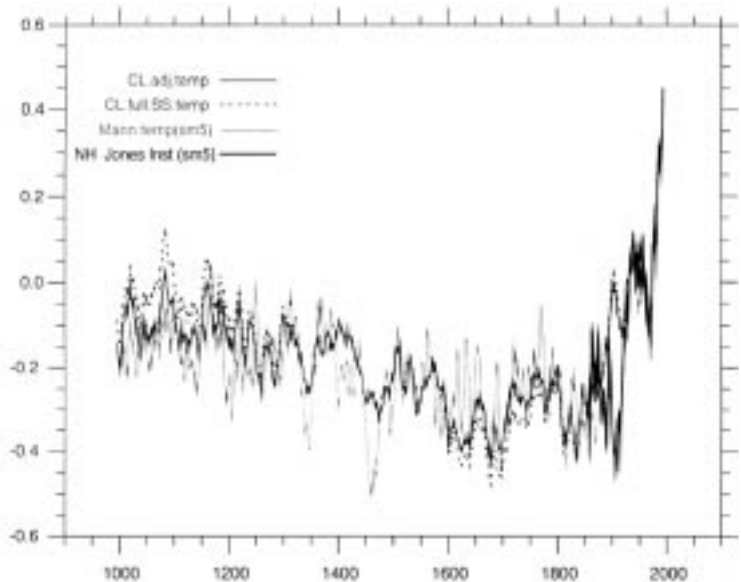
Die Analyse langer meteorologischer Reihen zeigt neben stets auftretenden Schwankungen deutliche Änderungen in den letzten Jahrzehnten: besonders einprägsam ist dies bei der Temperatur, die im globalen Mittel um etwa 0,6°C gestiegen ist (siehe Abbildung 1). In Österreich stieg die Temperatur im selben Zeitraum um etwa 1,8°C, wobei alle Höhenlagen betroffen sind (Böhm et al. 1998). Aber auch die Niederschlagssummen haben sich verändert, es wird eine Zunahme der Niederschläge in den mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre festgestellt (IPCC 1996). Niederschlagserhöhungen gehen oft auf häufigeres Auftreten von Starkniederschlägen zurück. Im Alpenraum weist vor allem der westliche Teil eine zum Teil beträchtliche Zunahme der Niederschläge auf – in der West- und Nordschweiz wurden bis zu

## What we know about climate change

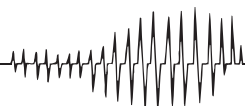
Meteorological data and observations of nature show that the climate is changing. To the best of our knowledge, i.e. according to the most advanced climate models, these changes can be largely explained by the anthropogenic influence on the atmospheric composition. Model simulations of future developments still contain large uncertainties, but are consistent in expecting global warming and an increase in the frequency of extreme events. The alpine region appears to be more vulnerable than others in Europe because the climate changes could be more extensive here and because the affected systems are more sensitive.

**Keywords:** Climate Change, Global Warming, Effects on Austria

Abb. 1: Temperatur der Nordhemisphäre der letzten 1000 Jahre.



Nach verschiedenen Methoden rekonstruierte Temperaturreihen (ab ca. 1850 aus Messwerten) zeigen den dramatischen Temperaturanstieg im letzten Jahrhundert. Während die Schwankungen bis 1850 aus Vulkanismus und Änderungen der Strahlungsintensität der Sonne sowie aus interner Variabilität des Klimasystems erklärbar sind, müssen zur Erklärung der raschen Temperaturzunahme Änderungen in der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre herangezogen werden. Quelle: USGCRP 2000



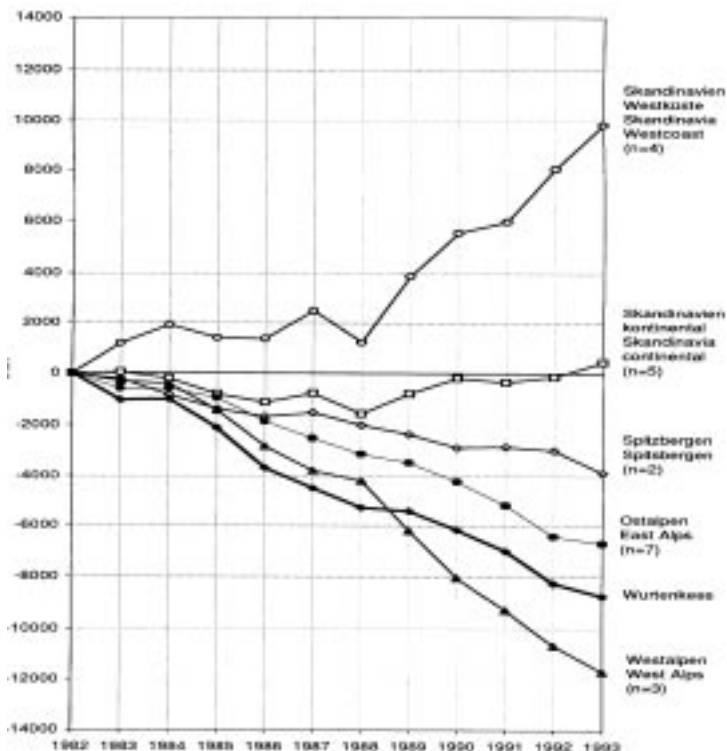
40 % Niederschlagszunahme im Winter analysiert (Widmann und Schär 1997) – während etwa im Osten Österreichs eher ein Rückgang der Niederschlagsmengen festzustellen ist (Auer und Böhm 1994). Der Meeresspiegel ist bis zu 20cm gestiegen, schneller als je zuvor in den letzten 6000 Jahren (IPCC 1996).

Der Einfluss der Veränderungen der klimatischen Bedingungen auf unbelebte und belebte Natur ist leicht zu beobachten: Die winterliche Packeisgrenze im nördlichen Polarmeer geht zurück, alle Gletscher, deren Bilanz im Wesentlichen von den Verhältnissen während des Sommerhalbjahres abhängt (das sind in Europa praktisch alle, außer jenen an der skandinavischen Westküste) weisen starke Rückgänge auf (Abbildung 2). Permafrostböden (d.h. ständig gefrorene Böden, die im Sommer nur oberflächlich auftauen) sind in den Alpen ab etwa 2400 m Höhe möglich und über 3000

m ziemlich sicher vorhanden. Die Untergrenze dieses Permafrostbereiches ist in den letzten 100 Jahren in der Schweiz um ca. 150 bis 250 m gestiegen (Meier 1998). Am Corvatsch, in der Schweiz, ist die Bodentemperatur in 11 m Tiefe seit 1987 jährlich um ca. 0,1°C angestiegen und die Temperaturzunahme ist bis in 80m Tiefe erkennbar. Skilifte oder Lawinenverbauungen, die in diesen Böden verankert sind, verlieren an Stabilität.

Wo sich die Gletscher zurückziehen, und der Permafrost schmilzt, wächst die Gefahr von Murenabgängen, da es sich meist um heterogen aus Blöcken, Sanden und Kies zusammengesetzte Böden, Moränenablagerungen oder Hangschutt handelt. Es wurde geschätzt, dass im Hochwasserjahr 1987 in den gesamten Alpen, etwa 50 % aller Gerinnenmurengänge von ehemaligen Permafrost und Gletschergebieten ausgegangen sind (Bader und Kunz 1998).

Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Gletschermassen für verschiedene Gebiete Europas.



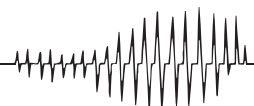
Alle Gebiete weisen deutliche Rückgänge auf, mit Ausnahme der Skandinavischen Küstengletscher, die aufgrund der Zunahme der winterlichen Niederschläge anwachsen.

Quelle: Auer et al. 1995, Seite 112

Der Vergleich der derzeitigen Artenzusammensetzung der hochalpinen Vegetation auf Alpengipfeln mit historischen Aufzeichnungen zeigt sowohl eine Zunahme der Artenvielfalt als auch die Wanderung von Arten in höhere Regionen. Einige Arten weisen Migrationsraten von bis zu 4 m pro Dekade auf (Grabherr et al. 1995).

In Skandinavien leidet das Wild unter der tiefen winterlichen Schneedecke: Die Zahl der Muttertiere, die den Winter nicht überleben, steigt, und die Jungtiere sind bei der Geburt deutlich schwächer als früher (Türk 1999).

Die Tatsache, dass sich das Klima im letzten Jahrhundert in Richtung Erwärmung geändert hat, ist auch über diese Beispiele hinaus weltweit hinreichend belegt und unumstritten. Die Fragen, an denen sich die Diskussion entzündet, vor allem wenn es um politische Entscheidungen mit Rückwirkungen auf bestimmte Wirtschaftszweige geht, sind, ob diese Klimaänderungen anthropogen bedingt, d.h. durch menschliche



Aktivitäten verursacht sind, und ob es technische Möglichkeiten der Gegensteuerung gibt, die ein Fortsetzen des derzeitigen Umganges mit Energie und Rohstoffen erlauben.

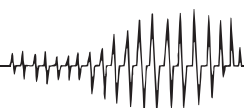
## Das Klimasystem, seine Schwankungen und Variabilität

Das Klimasystem besteht aus Atmosphäre (Lufthülle der Erde), Hydrosphäre (Wasser – flüssig und gasförmig), Kryosphäre (Polareis, Gletschereis), Lithosphäre (feste Erde) und Biosphäre (Pflanzen, Tiere, Menschen) und reagiert auf Änderungen in den einzelnen Sphären und deren Wechselwirkungen. Die das Klimasystem antreibende Energie kommt fast ausschließlich von der Sonne und ist daher abhängig von der Strahlungsintensität der Sonne, von den geometrischen Bahnparametern der Erde (Entfernung von der Sonne, Achsenneigung, Rotationsgeschwindigkeit der Erde, etc.), der Zusammensetzung der Atmosphäre und der Oberflächenbeschaffenheit der Erde. Alle diese Parameter unterliegen Schwankungen und Änderungen, die zu Klimaänderungen in jeweils typische Zeiträumen führen. Aus den systematischen Schwankungen der Bahnparameter z.B. können die Eiszeiten weitgehend erklärt werden.

Die Erklärung der sehr raschen Erwärmung des letzten Jahrhunderts setzt in erster Linie bei der Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre an: durch die steigende Konzentration an  $\text{CO}_2$  und anderen sogenannten Treibhausgasen (Methan, Lachgas, FCKWs, Ozon), d.h. Gasen, welche die kurzwellige Strahlung der Sonne weitgehend ungehindert durchlassen, die längerwellige Ausstrahlung der Erde aber absorbieren (Treibhauseffekt), steht dem Klimasystem zunehmend mehr Energie zur Verfügung. Der bisherige quasi Gleichgewichtszustand zwischen eingestrahelter und abgestrahlter Energie ist daher gestört.

Ursache für die Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit menschliche Aktivitäten, vor allem das Verbrennen fossiler Brennstoffe, sei es zur Erzeugung von Raum- und Prozesswärme, zur Fortbewegung (Verkehr) oder zur Bereitstellung höherwertiger Energieformen (z.B. Strom). Aber auch andere Aktivitäten, etwa im Bereich der Landwirtschaft (z.B. Mineraldüngung, Reisanbau), die Tierhaltung oder das Roden von Urwäldern liefern beachtliche Beiträge. Da die Kreisläufe der Treibhausgase bzw. ihrer Komponenten quantitativ noch nicht vollständig verstanden werden, kann der anthropogene Beitrag nicht mit letzter Sicherheit angegeben werden. Insbesondere der Kohlenstoffkreislauf, bei dem es um den Austausch relativ kleiner Stoffmengen zwischen sehr großen Reservoiren (insbesondere im Boden und im Meer) geht, gibt noch Rätsel auf. Fest steht, dass nur etwa die Hälfte des anthropogen freigesetzten Kohlenstoffes tatsächlich in der Atmosphäre verbleibt, der Rest wird in anderen Medien gespeichert.

Die zusätzliche Energie, welche durch die Verstärkung des Treibhauseffektes im Klimasystem zur Verfügung steht, wirkt sich nicht ausschließlich in einer Temperaturerhöhung aus, sondern wird innerhalb des Systems auf komplizierte und vielfältige Weise umgesetzt. Eine besondere Rolle spielen dabei zahlreiche Rückkoppelungsmechanismen, die verstärkend oder stabilisierend wirken können: Mit wachsender  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre steigt z.B. die Temperatur der Ozeane, dadurch wird in den Meeren gespeichertes  $\text{CO}_2$  freigesetzt, die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre steigt weiter, es wird noch wärmer usw. – ein verstärkender (positiver) Rückkoppelungsprozess. Andererseits kann die Atmosphäre bei steigender Temperatur mehr Wasserdampf aufnehmen, es kommt zu verstärkter Wolkenbildung, dadurch wird die Sonneneinstrahlung vermindert,





die Atmosphäre kühlt sich wieder ab, die Verdunstung und die Wolkenbildung gehen zurück, es kommt wieder zu erhöhter Erwärmung usw. – ein vereinfachtes Beispiel für einen stabilisierenden (negativen) Rückkoppelungsmechanismus. In der Natur können die zahlreichen derartigen Prozesse nicht isoliert betrachtet werden – sie greifen alle ineinander und bestimmen in ihrer Gesamtheit das Verhalten des Systems.

Ein wesentlicher Aspekt der Nichtlinearität des Systems ist, dass – solange es nicht vollständig verstanden wird, und davon sind wir noch weit entfernt – Überraschungen immer möglich sind. Dies bedeutet, dass z.B. ein wenig mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre nicht lediglich zu ein wenig höheren Temperaturen führen kann, sondern möglicherweise zu dramatischen Änderungen, bis hin zum Kippen des gesamten Systems.

### **Globale Zirkulationsmodelle**

Es gibt mehrere wissenschaftliche Methoden, das beobachtete Verhalten des hochkomplexen Klimasystems zu untersuchen und vorhersagbar zu machen. Die derzeit vielversprechendste ist die Beschreibung des Systems mittels sogenannter Allgemeinzirkulationsmodelle (General Circulation Models – GCM), eines Satzes nichtlinearer, partieller Differentialgleichungen höherer Ordnung, die auf Großrechenanlagen numerisch gelöst werden. Zu diesem Zweck wird die Erde gedanklich mit einem Gitternetz überzogen, das in der Horizontalen in mittleren Breiten eine Gitterdistanz von etwa 150 km hat, und in der Vertikalen bis in ca. 50 km Höhe reicht. Die Zahl der Gitterpunkte ist entscheidend für die räumliche Auflösung des Modells (es können kleinräumigere Prozesse erfasst werden), aber auch für die erforderliche Rechenzeit und den Speicherbedarf, so dass man aus praktischen Gründen einen Kompromiss suchen muss.

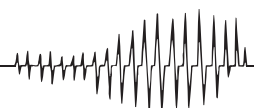
Die ca. 15 aktuellen Modelle dieser Art unterscheiden sich vor allem in der Parametri-

sierung, d.h. in der Art wie sie jene physikalischen Prozesse behandeln, welche sie nicht explizit darstellen können. Parametrisierungen sind derzeit und in absehbarer Zukunft unverzichtbar, weil die Rechnerkapazitäten nicht ausreichen, alle Prozesse zu simulieren, weil nicht alle erforderlichen Eingangsdaten verfügbar sind, und weil manche Prozesse noch nicht hinreichend gut verstanden werden.

Die größten Unsicherheitsfaktoren innerhalb der Modelle liegen derzeit in der Parametrisierung der Wolken, in der Koppelung von Ozean- und Atmosphärenmodellen, in der Behandlung der atmosphärischen Aerosole und in der begrenzten räumlichen Auflösung.

### **Globale Szenarien für die Zukunft**

Wiewohl sich die Ergebnisse der verschiedenen Modelle unterscheiden, sind allen doch gewisse Eigenschaften gemeinsam: Bei weiterer Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen kommt es global gesehen im unteren Teil der Atmosphäre (Troposphäre) zu einer Erwärmung, die in der jeweiligen Winterhemisphäre und in Polnähe stärker ausfällt als im Sommer und in Äquatornähe. Sie ist in kontinentalen Gebieten am größten; die Meere erwärmen sich aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität deutlich langsamer. Diese Erwärmung wird nach bisherigen Erkenntnissen das 21. Jahrhundert und darüber hinaus anhalten. In größeren Höhen (in der sogenannten Stratosphäre) kommt es zu Abkühlung – ein Effekt der im übrigen die Zerstörung der schützenden Ozonschicht in diesem Niveau begünstigt. Aufgrund der Erwärmung der Troposphäre kann diese mehr Wasserdampf aufnehmen, so dass der Wasserkreislauf angeheizt wird. Zugleich wird es in manchen Bereichen schwüler, d.h. die Erwärmung wird für den Menschen schwerer erträglich. Obwohl die Simulation extremer Wetterereignisse besonders unsicher ist,



deuten die Berechnungsergebnisse doch auf eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten und damit auf vermehrte Überschwemmungen.

Bei einer Veränderung des mittleren Zustandes – z.B. der Erhöhung der mittleren Temperatur eines Ortes – kommt es zur Verschiebung der gesamten Häufigkeitsverteilung der Temperaturen und damit automatisch auch zur Veränderung des Auftretens der Extreme (Abbildung 3.). Die für unsere Gesundheit bzw. unsere Infrastruktur besonders problematischen Extremereignisse werden voraussichtlich vermehrt auftreten. Im Bereich der Versicherungswirtschaft meint man schon jetzt eine Zunahme der Häufigkeit solcher Ereignisse, z.B. Überschwemmungen, feststellen zu können (Berz 1996).

Die Gletscher in der Nordhemisphäre gehen weiter zurück und durch die Erwärmung der Ozeane steigt das Meeressniveau weiter an. Von besonderer Bedeutung ist die immer noch offene Frage nach der Abschwächung oder Verstärkung der ozeanischen Zirkulation, deren Intensität sehr stark von Meerestemperatur, Verdunstung und Salzgehalt, insbesondere im Atlantischen Ozean, abhängt. Bei Abschwächung bzw. Zusammenbruch dieser Zirkulation würde das Klima in Europa nicht mehr in demselben Ausmaß vom warmen Golfstrom geprägt, und es könnte zu dramatischen Veränderungen vor allem im Norden Europas kommen. Dies ist ein Beispiel für einen Bereich in dem noch mit Überraschungen zu rechnen ist.

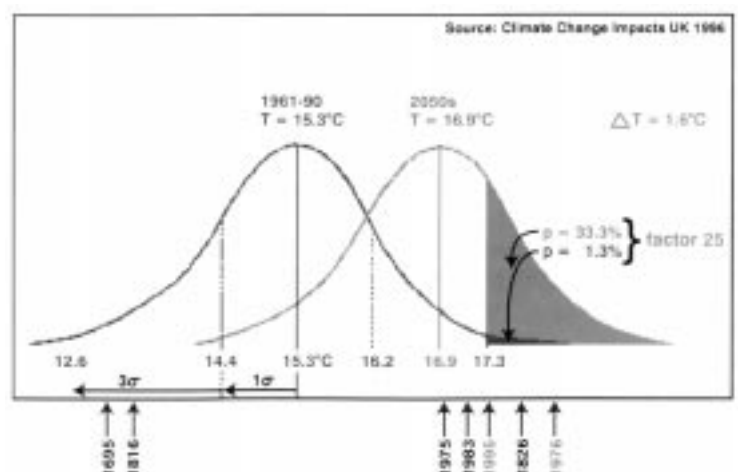
## Auswirkungen auf den alpinen Raum

Die Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Alpinen Raum können nicht direkt aus den Ergebnissen der globalen Modelle (GCM) abgelesen werden. Das Klima ist das Resultat der Interaktion einer Vielzahl von Prozessen mit sehr verschiedenen Raum- und Zeitmaßstäben. Der Übergang

vom globalen Maßstab zum regionalen, und von diesem zum lokalen bedeutet eine Verschiebung der relativen Bedeutung der verschiedenen Prozesse und kann daher nicht durch triviale lineare Interpolation erreicht werden. Regionale und lokale Wetter- und Klimaentwicklungen können nur mittels physikalisch sinnvoller Koppelung aus den globalen Werten abgeleitet werden.. Diese Aufgabe umfasst das, was heute als „Regionalisierung“, als „down-“ und „upscaling“, und als „Übergang vom Punkt zur Fläche“ und umgekehrt bezeichnet wird. Wiewohl es mehrere Methoden zur Lösung dieser Aufgabe gibt, ist das Problem insbesondere für ein so reich gegliedertes, komplexes Gebiet wie den Alpenraum noch nicht befriedigend gelöst. Dementsprechend gibt es keine belastbaren, umfassenden Szenarien-Berechnungen für den Alpinen Raum – ein Manko, das dringend behoben werden sollte.

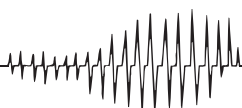
Für einzelne Fragestellungen oder für räumlich begrenzte Gebiete, gibt es jedoch Trendabschätzungen. So wurde z.B. für das Corvatsch-Furtschallas Gebiet in der Schweiz berechnet, dass in etwa 100 Jahren bei 3°C Erwärmung 70 % des Parmafrostgebietes aufgetaut sein wird, und

Abb. 3: Erhöhte Wahrscheinlichkeit von Extremwerten



Eine Erhöhung der Sommermitteltemperatur von 1,6°C würde die Häufigkeit des Auftretens sehr warmer Sommer dramatisch steigern (von 1,3 % auf 33,3%). Die für Mittelengland abgeleitete Häufigkeitsverteilung basiert auf einer 300 jährigen Temperaturreihe.

Quelle: Vellinga and Van Verseveld 2000 nach CCIRG 1996



die Gletscher völlig verschwunden sein werden. Die Gleichgewichtslinie der Gletscher wird um 150 bis 350 m ansteigen und die Permafrostgrenze um 200 bis 750 m (Bader und Kunz 1998).

Von Lexer et al. (2000 a, b) wurde der potentielle Effekt mehrerer Klimaänderungsszenarien auf den österreichischen Wald in einer Simulationsstudie analysiert. Dabei zeigte sich, dass vor allem in Tieflagen (Seehöhen unter 900 m) direkte und unmittelbare Auswirkungen einer Klimaänderung in Form von erhöhter Baum mortalität vor allem durch eine Reduktion der Niederschläge zu erwarten sind. Steigende Temperaturen im Ausmaß von etwa 1-2°C wirken sich langfristig stärker in höheren Lagen (Seehöhen über 1200 m) aus, in denen unter heutigen Klimaverhältnissen die Temperaturbedingung für viele Laubbäume zu ungünstig sind.

Eine mittlere Temperaturerhöhung um 1°C würde in Österreich zu einem Rückgang der Tage mit Schneedecke um ca. 4 Wochen im Winter und 6 Wochen im Frühjahr je nach Höhenlage führen, und damit für den Wintertourismus in allen tiefen und

mittleren Lagen wesentliche Einbußen bedeuten (Hantel et al. 2000). Nach Breiling (et al. 1997) könnten sich bei einer Temperaturerhöhung um 2°C schwere Instabilitäten im Wirtschaftsgefüge mancher Wintertourismusgebiete ergeben.

Im Fall einer Klimaerwärmung ist auch mit einer rascheren Entwicklung von Schädlingen zu rechnen, Krankheitserreger oder -überträger könnten in Gebiete vordringen, in welchen sie derzeit unbekannt sind. Von besonderer Bedeutung könnten aber die sozialen Probleme werden, die durch Klimaflüchtlinge hervorgerufen werden (ÖAW 1993).

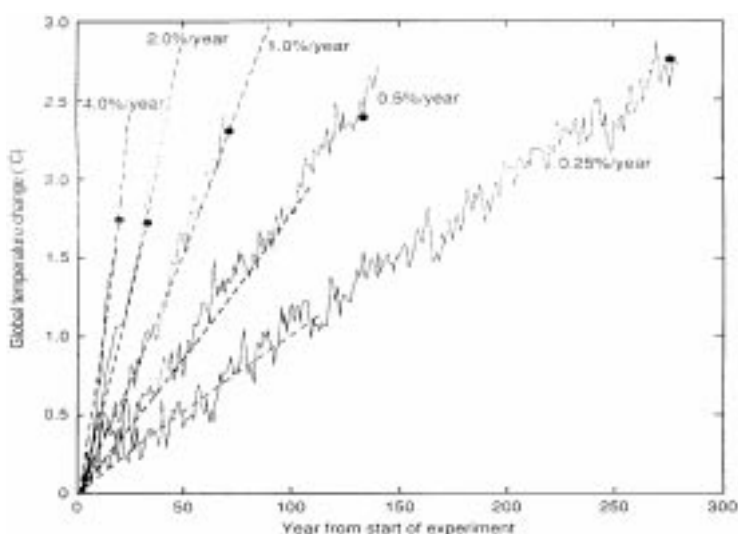
## Maßnahmen: Prophylaxe – Anpassung – Gegensteuerung

Bei den möglichen Maßnahmen kann man verschiedene Kategorien unterscheiden, die – je nach Kulturkreis und Weltbild – unterschiedliche Bewertung erfahren:

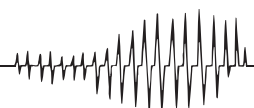
**1. Maßnahmen zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen** (d.h. Maßnahmen, die ihrem Charakter nach Präventivmaßnahmen sind): Mit jetzt einsetzenden Emissionsreduktionen – selbst wenn sie wesentlich radikaler ausfielen, als dies im Kyoto-Protokoll vereinbart wurde – kann die Klimaänderung nicht mehr verhindert werden. Derartige Maßnahmen können jedoch einen wesentlichen Beitrag leisten, die Klimaänderung zu verlangsamen: so tritt etwa die Erhöhung der Temperatur um 2,5°C (Verdopplung des CO<sub>2</sub>-Equivalents) erst nach 300 statt nach 70 Jahren ein (siehe Abbildung 4), wenn der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen von 1 % auf 0,25 % abgesenkt wird (IPCC 1996).

**2. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung:** aus dem oben Gesagten geht hervor, dass die Klimaänderung bereits Realität ist und nicht abrupt zum Stillstand kommen wird. Es ist daher naheliegend, Adaptionsmaßnahmen zu ergreifen, etwa

Abb. 4: GCM-Szenarienberechnungen der Temperaturzunahme



In Abhängigkeit von verschiedenen Raten der Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: Emissionsreduktionen haben einen signifikanten Einfluss auf die Eintrittszeiten vorgegebener Temperaturerhöhungen.  
Quelle: IPCC 1996, Seite 312.



um Wälder anpassungsfähiger zu gestalten oder tiefliegende Küstenstriche gegen Überflutung zu schützen. Die Natur setzt hier Grenzen: Wälder und vor allem Böden brauchen Zeit um den neuen Anforderungen gerecht zu werden, und manch niedrig liegendes Gebiet (z.B. einige Inseln im Pazifik, zahlreiche Küstenstädte) sind gegen das Ansteigen des Meeresspiegels nicht zu schützen. Da nicht vorhergesagt werden kann, wie das zukünftige Klima beschaffen sein wird, ist eine ganz entscheidende Forderung an alle Anpassungsmaßnahmen, dass sie in erster Linie die Flexibilität der Systeme erhöhen müssen.

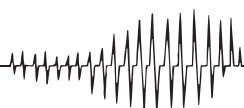
**3. Gegenmaßnahmen:** Werden im Weltall große Spiegel errichtet, welche die einfallende Sonnenstrahlung reflektieren, bevor sie die Erde erreicht, so kann man die Energie- und damit Wärmezufuhr steuern, und erhöhte Temperaturen aufgrund geänderter Zusammensetzung der Atmosphäre ausgleichen. Solche und ähnliche Gedanken werden diskutiert, scheitern aber bislang entweder an der Energie- oder Treibhausgasbilanz oder an den Kosten. Die Problematik derartigen Lösungen ist, dass sie meist nur einen Aspekt eines komplexen Systems in Betracht ziehen, und zu kompensieren suchen. So ist das Leben auf der Erde ja nicht nur temperatur- sondern auch strahlungsempfindlich, und eine Veränderung der einfallenden Sonnenstrahlung, hätte ebenfalls unerwünschte Auswirkungen auf die Natur. Der Versuch, die unerwünschten Folgen einer Technologie durch Nachschalten einer weiteren Technologie zu beheben, führt häufig nur zu einer Verlagerung der Probleme. Diese Maßnahmenkategorie wird daher von vielen nicht als gangbarer Lösungsweg angesehen.

## Zusammenfassung

Es gibt zahlreiche direkte und indirekte Beweise, dass sich das Klima im letzten Jahrhundert signifikant in Richtung auf eine globale Erwärmung verändert hat. Die Ur-

sachen dieser Veränderungen des hochkomplexen Klimasystems zu verstehen ist eine Voraussetzung für glaubhafte Projektionen in die Zukunft. Mittels globaler Zirkulationsmodelle (GCM) gelingt es, den Temperaturverlauf der letzten hundert Jahre hinreichend genau zu simulieren und unter Annahme verschiedener CO<sub>2</sub>-Szenarien für die kommenden Jahrzehnte zu berechnen. Die Ergebnisse weisen einheitlich auf weitere Temperaturzunahmen hin, auf Veränderungen der Niederschlagstätigkeit – in unseren Breiten hin zu mehr und intensiveren Niederschlägen, auf einen weiteren Rückgang der Gletscher und einen Anstieg des Meeresspiegels. Obwohl es derzeit noch keine verlässlichen Methoden zur Umsetzung dieser Ergebnisse auf den für den alpinen Bereich erforderlichen kleinräumigeren Maßstab gibt, muss aufgrund der bisherigen Beobachtungen (die Temperatur stieg in Österreich im letzten Jahrhundert z.B. um 1,8°C gegenüber ca. 0,6°C im globalen Mittel) und einzelner einschlägiger Studien doch davon ausgegangen werden, dass die globalen Änderungen hier eher verstärkt spürbar werden. Eine Vielzahl von Wirtschaftsbereichen, von der Energiewirtschaft bis zum Tourismus wird davon betroffen sein.

Selbst wenn man von den schlimmsten Befürchtungen (z.B. Zusammenbruch der ozeanischen Zirkulation) absieht, und Überraschungen im Verhalten des Systems ausschließt, sind die erwarteten Änderungen, global und national, von einem Ausmaß, das nicht leicht zu bewältigen sein wird. Emissionsmindernde Maßnahmen können den Prozess verlangsamen und so wertvolle Zeit für die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen schaffen. Da eine verlässliche Beschreibung des zukünftigen Klimas nicht möglich ist, müssen Anpassungsmaßnahmen vor allem auf größere Flexibilität der Systeme ausgerichtet sein.





## Literatur

**Auer, I., Böhm, R. (1994):** Combined temperature-precipitation variations in Austria during the instrumental period. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 49, Springer, Wien New York. pp 161-174

**Auer, I., Böhm, R., Hammer, N., Schöner, W., Wiesinger, T., Winiwater, W. (1995):** Glaziologische Untersuchungen im Sonnblickgebiet: Forschungsprogramm Wurtenkees. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 12, Wien

**Bader, S., Kunz, P. (1998):** Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz. *Schlußbericht des Nationalen Forschungsprojektes (NFP) 31*, Hochschulverlag, Zürich

**Berz, G. (1997):** Annual Review of Natural Catastrophes 1996. *Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft*, München

**Böhm, R., Auer, I., Schöner, W., Hagen, M. (1998):** Long Alpine barometric time series in different altitudes as a measure for 19th/20th century warming. *Proc. 8th Conf. on Mountain Meteorology*, 3.-7. August 1998, Flagstaff, Arizona. pp. 72-76, AMS Boston

**Breiling, M., Charamza, P., Skage, O.R. (1997):** Klimasensibilität österreichischer Bezirke mit besonderer Berücksichtigung des Wintertourismus. *Endbericht des Forschungsauftrages des Österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaftliche Angelegenheiten*, Projektnummer 18 3895/222-1/9/95, Wien

**CCIRG, Climate Change Impacts Review Group (1996):** Review of the Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom. *HSMO*, London, pp 264

**Formayer, H., Nefzger, H., Kromp-Kolb, H. (1998):** Auswirkungen möglicher Klimaänderungen im Alpenraum. *Eine Bestandsaufnahme*. Institut für Meteorologie und Physik, BOKU, Wien

**Giorgi, F., Beniston, M., Hurrell, J.W., Marinucci, M.R. (1997):** Elevation Dependency of the Surface Climate Change Signal: A Model Study. *Journal of Climate* 10, pp 288-296

**Glogger, B. (1998):** Heisszeit – Klimaänderungen und Naturgefahren in der Schweiz. *Hochschulverlag AG*, Zürich

**Grabherr, G., Gottfried, M., Grubner, M., Pauli, H. (1995):** Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: Chapin III, F.S., Körner, D. (ed.): *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*. *Ecological Studies*, Vol. 113, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 167-181

**Haerberli, W. (1994):** Accelerated Glacier and Permafrost Changes in the Alps. In: Beniston M.: *Mountain Environments in Changing Climates*. *Routledge*, pp. 102

**Hantel, M., Ehrendorfer, M., Haslinger, A. (2000):** Climate sensitivity of snow cover duration in Austria. *Int. Journal of Climatology*, Vol 20, pp. 615-640

**IPCC SUPPLEMENT (1992):** Summary of Assumption in the Six IPCC 1992 Alternative Scenarios. *Scientific assessment of climate change*, 11, Cambridge UK

**IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1990):** *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge UK

**IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1994):** *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate and Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge UK

**IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1996):** *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge UK

**Lexner, M.J., Hönninger, M.J., Scheifinger, H., Matulla, Ch., Groll, N., Kromp-Kolb, H. (2000a):** The sensitivity of Central European mountain forests to scenarios of climate change: Methodological frame for a large-scale risk assessment. *Silva Fennica* 34 (2): pp. 113-129

**Lexner, M.J., Hönninger, M.J., Scheifinger, H., Matulla, Ch., Groll, N., Kromp-Kolb, H. (2000b):** The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climate change: A large-scale risk assessment. *Monographie*, Umweltbundesamt, Wien (in Druck)

**Meier, R. (1998):** Sozioökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz. In: Bader, S., Kunz, P.: *Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz*. *Schlußbericht des Nationalen Forschungsprojektes (NFP) 31*, Hochschulverlag, Zürich, S.235-244

**ÖAW, Österreichische Akademie der Wissenschaften (1993):** Bestandsaufnahme Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen auf Österreich – mögliche Maßnahmen in Österreich, Dokumentation, Verlag der Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien

**Schopf, A. (1997):** Möglicher Einfluss einer Klimaänderung auf das Schädlingsauftreten von Firstinsekten. In: *Klimaänderung – Mögliche Einflüsse auf den Wald und waldbauliche Anpassungsstrategien*. *Österreichischer Forstverein*, Wien, S. 25-34

**Türk, R. (1999):** Persönliche Mitteilung (roman.tuerk@sbg.ac.at)

**USGCRP, U.S. Global Change Research Program (2000):** *Our Changing Planet. The FY 2001. A Report by the Subcommittee on Global Change Research, Committee on Environment and Natural resources of the National Science and Technology Council*. USA

**Vellinga, P., van Verseveld, W.J. (2000):** *Climate Change and Extreme Weather Events*. *WWF*

**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

## Helga Kromp-Kolb

Jg. 1948, Studium der Meteorologie in Wien. Vorstand am Institut für Meteorologie und Physik an der Universität für Bodenkultur Wien.

E-mail: Helga.Kromp-Kolb@boku.ac.at

