

**Klimaänderung und mögliche Auswirkungen auf den
Wintertourismus in Salzburg**
Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer
Wien, April 2001



**Studie im Auftrag des
Amtes der Salzburger Landesregierung**

Klimaänderung und mögliche Auswirkungen auf den Wintertourismus in Salzburg

1.	EINLEITUNG	2
2-	GLOBALE KLIMAPROBLEMATIK	3
2.1	Ändert sich das Klima?.....	3
2.2	Das Klimasystem	6
2.3	Globale Zirkulationsmodelle	9
2.4	Globale Szenarien für die Zukunft	10
2.5	Das Intergovernmental Panel on Climatic Change	13
2.6	Die Argumente der “Skeptiker“	14
2.7	Maßnahmen.....	15
3	AUSWIRKUNGEN AUF DEN ALPINEN RAUM	17
3.1	Einleitung	17
3.2	Methoden der Regionalisierung.....	17
3.3	Szenarien Berechnungen	17
4	KLIMA UND WINTERTOURISMUS IN SALZBURG	20
4.1	Einleitung	20
4.2	Analyse der vergangenen Winter.....	20
4.3	Szenarien für die Zukunft	26
4.4	Künstliche Schneeproduktion.....	28
5.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	31
6	LITERATURHINWEISE	32

1. Einleitung

Der vorliegende Bericht widmet sich der Frage, ob der Wintertourismus im Bundesland Salzburg von der beobachteten Klimaänderung betroffen ist oder in Zukunft sein wird, und wenn ja, wie sehr und mit welchem Zeithorizont. Zum besseren Verständnis wird zugleich ein Überblick über die globale Klimaproblematik gegeben.

In den letzten Jahren ist immer deutlicher geworden, dass eine Änderung des Klimas stattfindet: Das zeigen die meteorologischen Messungen, das ist aber auch an einer Vielzahl von Folgewirkungen zu erkennen. Um Abschätzen zu können, wie die klimatische Entwicklung weitergehen wird, muß man das Klimasystem und die Ursachen der Änderung verstehen. Diesbezüglich sind in den letzten 10 Jahren große Fortschritte erzielt worden. Das deutlichste Beispiel dafür ist die erfolgreiche Vorhersage der Intensität von El Nino Ereignissen mit globalen Klimamodellen. Weniger gut lassen sich derzeit noch die im lokalen und regionalen Maßstab zu erwartenden Änderungen abschätzen. In Hinblick auf die Geschwindigkeit der Veränderungen erscheint es aber angebracht, trotz aller Unsicherheiten, mögliche Szenarien für zukünftige Verhältnisse zu entwickeln, um eventuell notwendige Maßnahmen zeitgerecht planen und einleiten zu können.

In diesem Sinne ist der vorliegende Bericht zu verstehen. Er stützt sich auf vorhandene, leicht zugängliche Messdaten und publizierte Klimaszenarien für den alpinen Raum und wertet diese für das Bundesland Salzburg in Hinblick auf die eingangs gestellt Frage aus. Er dient einer ersten Abschätzung der Relevanz der Fragestellung; er kann jedoch eine tiefgehende oder umfassende Analyse der regionalen Verhältnisse nicht ersetzen.

2- Globale Klimaproblematik

2.1 Ändert sich das Klima?

Die Analyse langer meteorologischer Reihen zeigt neben stets auftretenden Schwankungen deutliche Änderungen in den letzten Jahrzehnten:

- Die Temperaturzunahme im letzten Jahrhundert ist die stärkste in 1000 Jahren, die letzte Dekade ist die Wärmste des Jahrhunderts.
- In mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre nimmt der Niederschlag - vor allem durch Starkniederschläge - zu, in tropischen Gebieten ab.
- Mit wenigen Ausnahmen gehen Gletscher und Vereisung zurück.
- Der Meeresspiegel ist im letzten Jahrhundert um 10 bis 20 cm gestiegen, und der Anstieg scheint sich zu beschleunigen.
- El Nino-Ereignisse treten länger und anhaltender auf.

Besonders einprägsam sind die Änderungen bei der Temperatur, die im letzten Jahrhundert im globalen Mittel um etwa 0,6C gestiegen ist, wobei dieser Anstieg der rascheste der letzten 1000 Jahre ist, und die erreichten Temperaturen die höchsten in diesem Zeitraum sind (Abb. 2-1). In Europa stieg die Temperatur im selben Zeitraum um etwa 0,8C, in Österreich um 1,8C, wobei alle Höhenlagen betroffen sind (Abb.2-2). Aber auch die Niederschlagssummen haben sich verändert - es wird eine Zunahme der Niederschläge in den mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre festgestellt, wobei dies mit häufigerem Auftreten von Starkniederschlägen einhergeht. Im Alpenen Raum trifft dies vor allem für den westlichen Teil zu (Abb.2-3) – in der West- und Nordschweiz wurden z.B. bis zu 40% Niederschlagszunahme im Winter analysiert (Widmann und Schär 1997). Im südalpinen Raum und im Osten Österreichs ist hingegen eher ein Rückgang der Niederschlagsmengen festzustellen (Auer und Böhm 1994).

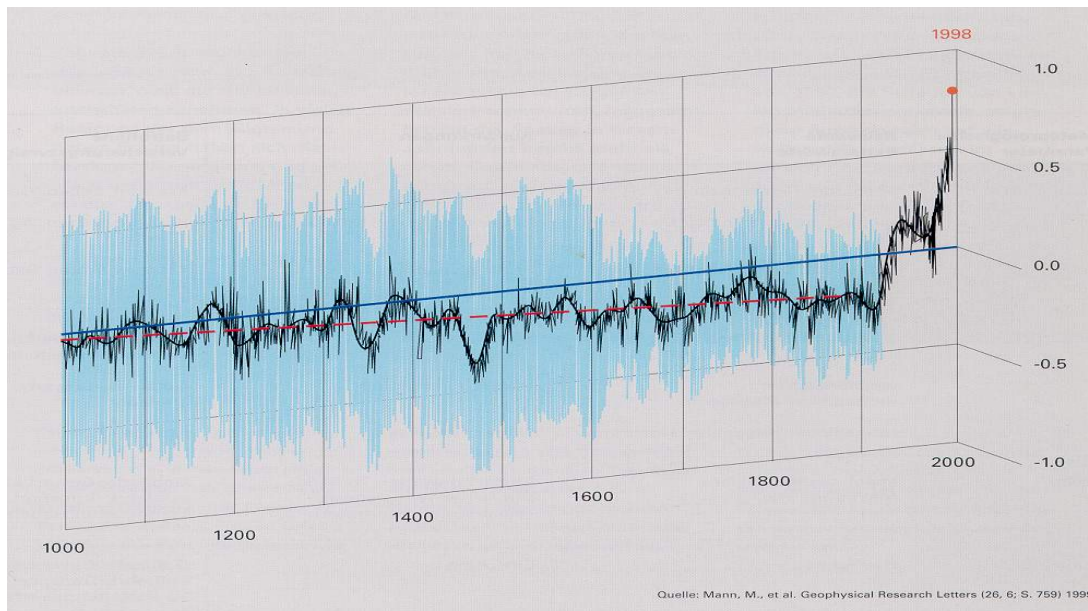


Abb. 2-1: Globaler Temperaturanstieg seit 1850 und in den letzten 1000 Jahren (nach Münchner Re, 2000). Die blauen Balken geben die Spannweite der zugrundeliegenden Proxidata vor der instrumentellen Periode an.

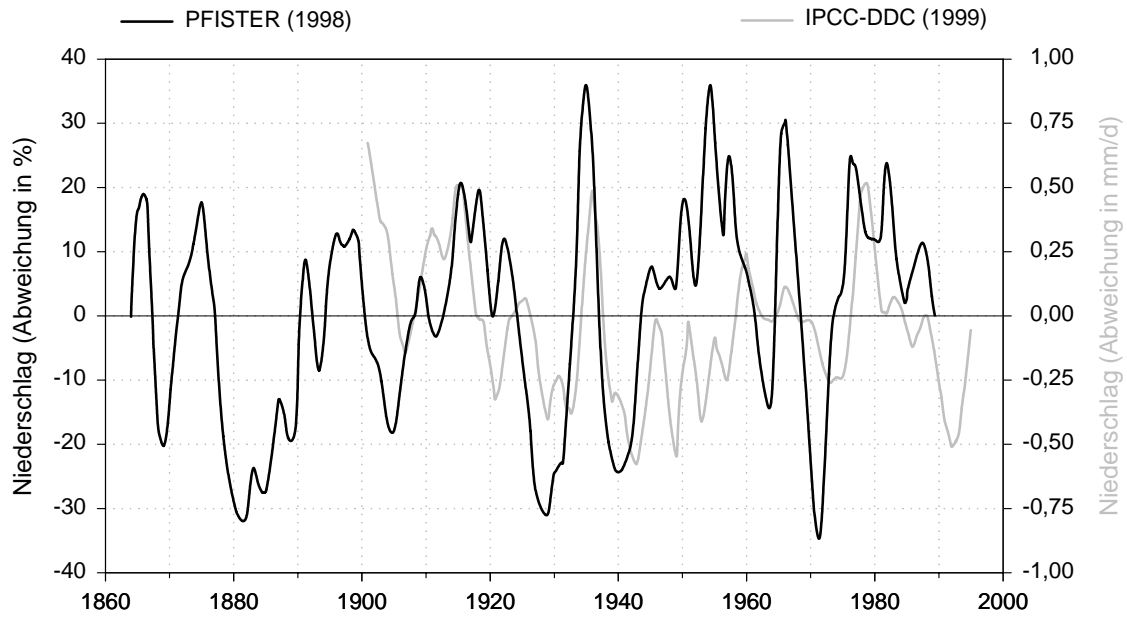


Abb. 2-2: Vergleich der Winterniederschlagszeitreihen über den Schweizer Alpenraum nach PFISTER (1998) und über den Großraum nach dem IPCC-DDC (1999) (Baumgartner et. al. 2000)

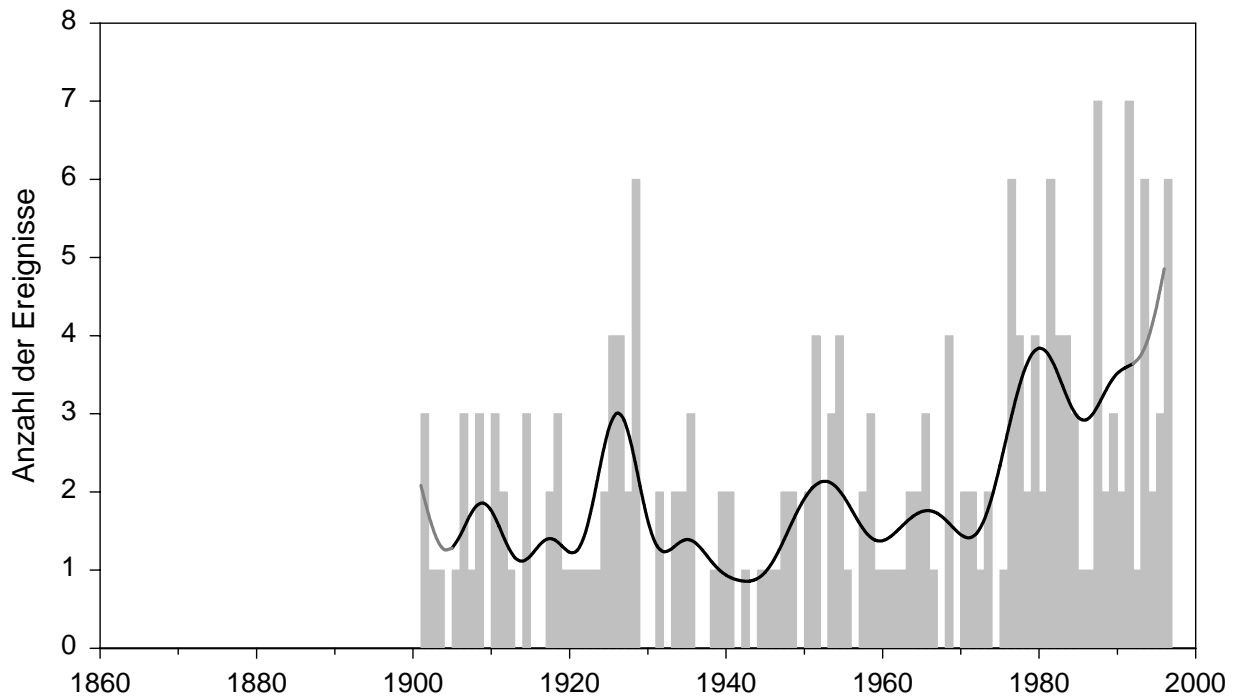


Abb. 2-3: Häufigkeit der Starkniederschläge (mit mehr als 70 Millimeter an einem Tag auf eine Mindestfläche von 500 Quadratkilometer) auf der Alpennordseite und in den inneren Alpen der Schweiz für die Periode von 1901 bis 1996 (gesamtes Jahr). im Alpinen Raum (Baumgartner et. al. 2000)

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 jene Gletscher, deren Bilanz im Wesentlichen von den Niederschlagsverhältnissen während des Sommerhalbjahres abhängt (das sind in Europa praktisch alle, außer jenen an der skandinavischen Westküste) weisen starke Rückgänge auf (Abb. 2-4). 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 (NFP31 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 80 m Tiefe erkennbar. Skilifte oder Lawinenverbauungen, die in diesen Böden verankert sind, verlieren an Stabilität.

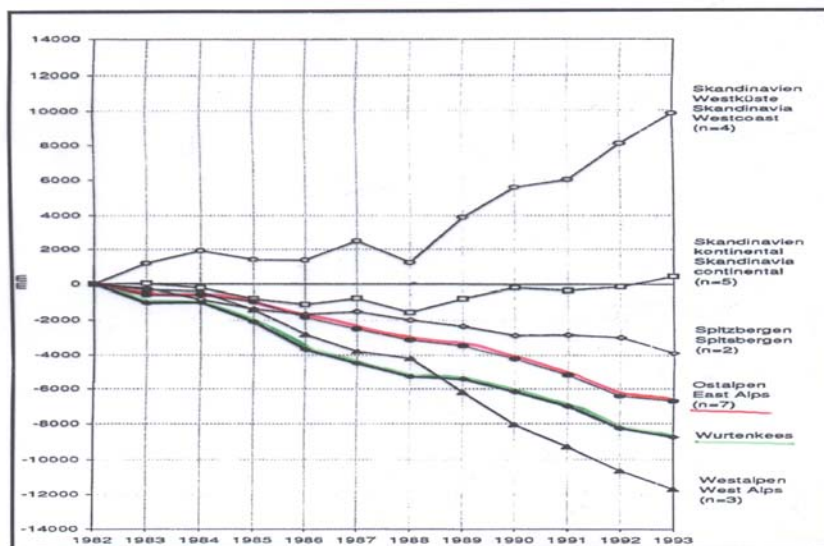


Abb. 2-4: Veränderung europäischer Gletscher bezogen auf das Jahr 1962. Auer et. al. 1995

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 (NFP 31).

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 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 überlebt, steigt, und die Jungtiere sind wegen der kräfteaubenden winterlichen Nahrungssuche der Muttertiere bei der Geburt deutlich schwächer als früher (Türk 1999).

Die Schlupfzeiten, das Migrationsverhalten und die Zahl der Brutten Europäischer Vogelarten verändern sich (Abb.2-5) und die phänologischen Phasen verschieben sich.

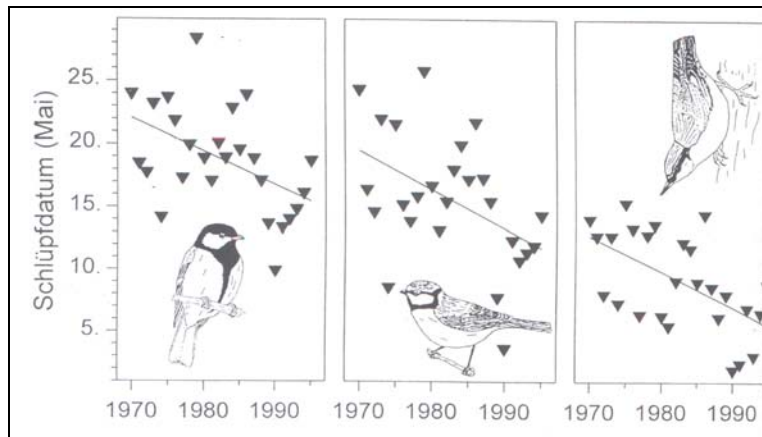


Abb.2-5: Verschiebung des Schlüpfdatums von Blaumeise und Kleiber um rund 10 Tage in den letzten 30 Jahren (Bairlein & Winkel in Grassl 1998)

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. Der 2001 vorgestellte Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) faßt zusammen: *An increasing body of observations gives a collective picture of a warming world and other changes in the climate system* (IPCC 2001).

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.

2.2 Das Klimasystem

Das Klimasystem besteht aus Atmosphäre (Lufthülle der Erde), Hydrosphäre (Wasser - flüssig und gasförmig), Kryosphäre (Polareis, Gletschereis, etc.), Lithosphäre (feste Erde) und Biosphäre (Pflanzen, Tiere, Menschen) und reagiert auf alle 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 (Abb.2-6). Aus den systematischen Schwankungen der Bahnparameter z.B. können die Eiszeiten weitgehend erklärt werden (Milankowitsch-Theorie).

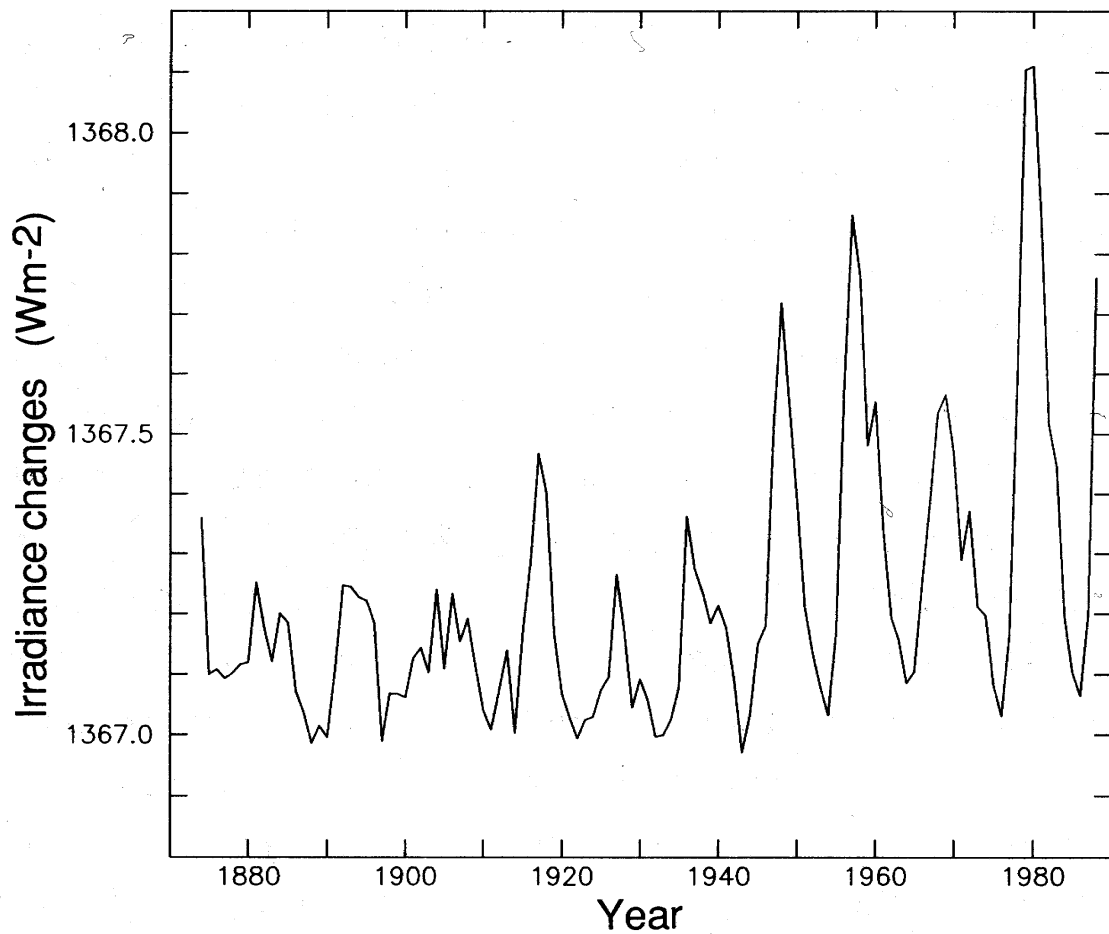


Abb.2-6: Klima-Zyklen. Periodische Schwankungen der Sonnenstrahlung (IPCC 1995)

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 CO_2 und anderen sogenannten Treibhausgasen (Methan, Lachgas, FCKWs, Ozon), d.h. an 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 (Abb.2-7). Der bisherige quasi Gleichgewichtszustand zwischen eingestrahelter und abgestrahlter Energie ist daher gestört.

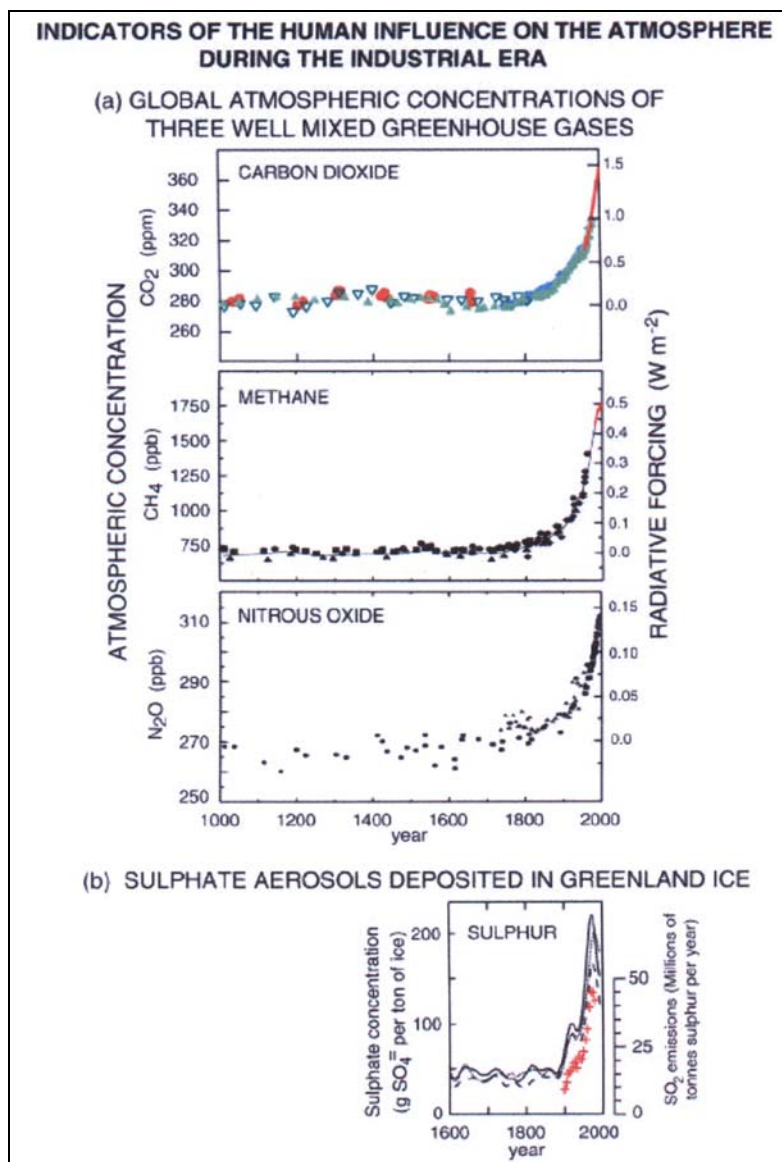


Abb.2-7: Zunahme ausgewählter Treibhausgase (IPCC 2001)

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 CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre steigt z.B. die Temperatur der Ozeane, dadurch wird in den Meeren gespeichertes CO_2 freigesetzt, die 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_2 in der Atmosphäre nicht lediglich zu ein wenig höheren Temperaturen führen kann, sondern möglicherweise zu dramatischen Änderungen, bis hin zum „Kippen“ des gesamten Systems.

2.3 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 (wie kleinräumige sind die Prozesse, die 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 Parametrisierung, 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,
- 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,
- Koppelung von Ozean- und Atmosphärenmodellen,
- Behandlung der atmosphärischen Aerosole und
- begrenzten räumlichen Auflösung.

2.4 Globale Szenarien für die Zukunft

Wiewohl sich die Ergebnisse der verschiedenen Modelle unterscheiden, sind allen doch gewisse Eigenschaften gemeinsam (Abb.2-8): Bei weiterer Zunahme der Treibhausgas-konzentrationen 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 vor UV-Strahlung 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 Zunahme der Niederschlagsintensitäten und damit vermehrte Überschwemmungen hin.

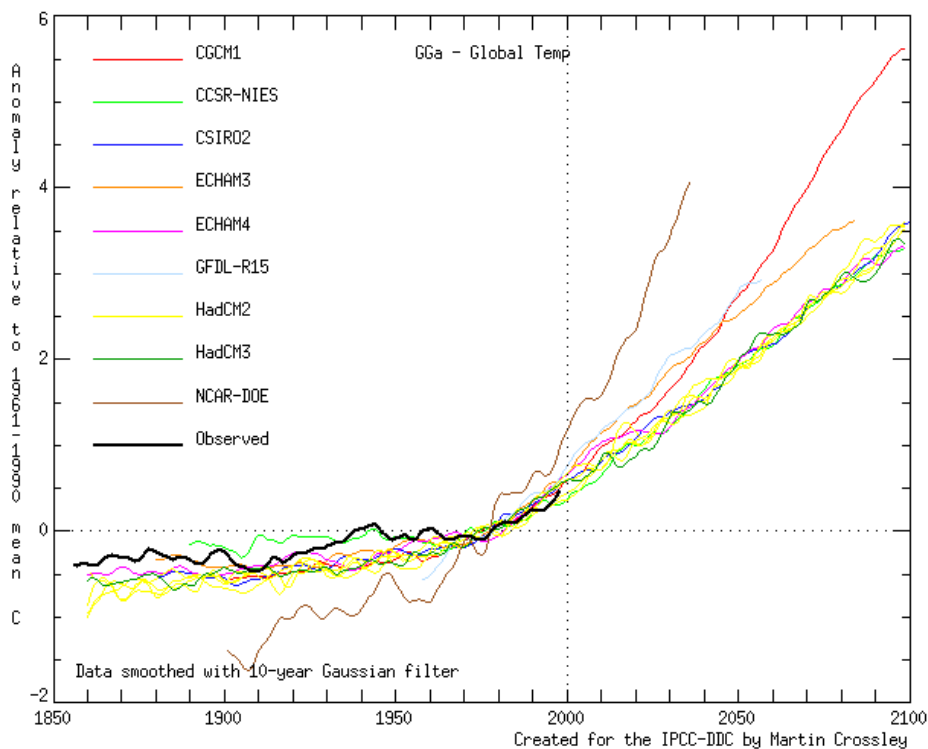


Abb.2-8: Szenarienberechnungen von verschiedenen Klimamodellen für das nächste Jahrhundert. Obwohl Unterschiede zwischen den Modellen auftreten, ist der Trend doch bei allen eindeutig. (IPCC-DDC 2001)

Bei einer Veränderung des mittleren Zustandes – z.B. der Erhöhung der mittleren Temperatur eines Ortes oder/und der Spannweite der auftretenden Temperaturen – kommt es zur Verschiebung der gesamten Häufigkeitsverteilung der Temperaturen und damit automatisch auch zur Veränderung des Auftretens der Extreme (Abb.2-9.). 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 (Abb.2-10).

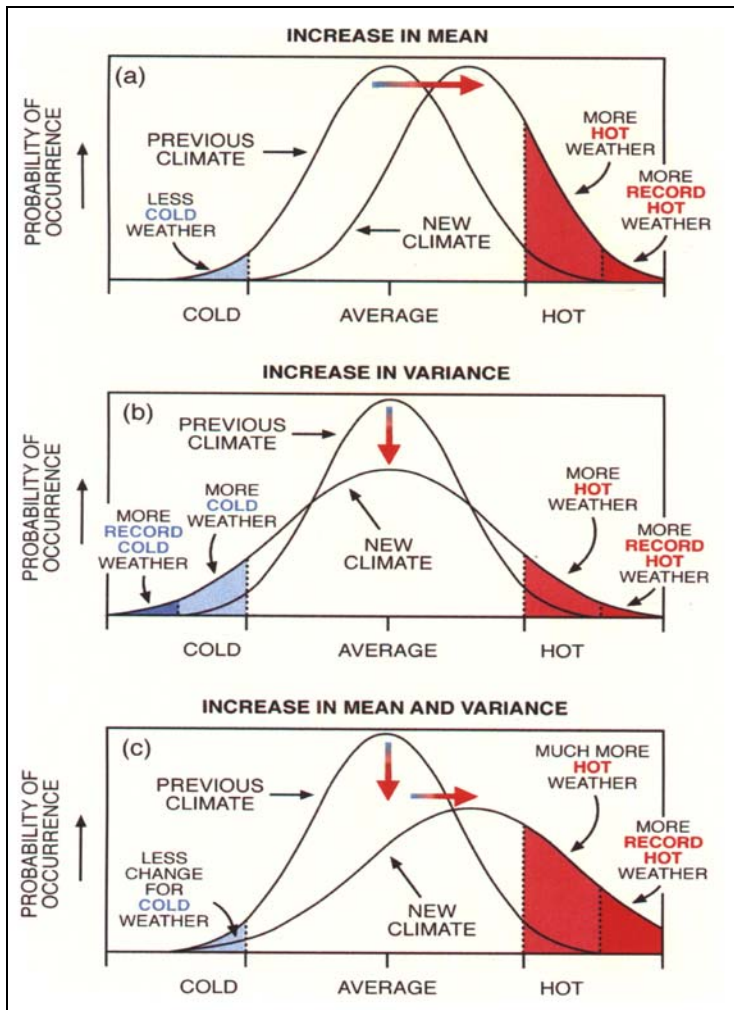


Abb.2.9: Zunahme von Extremwerten bei Klimaverschiebungen am Beispiel der Temperatur (IPCC 2001)

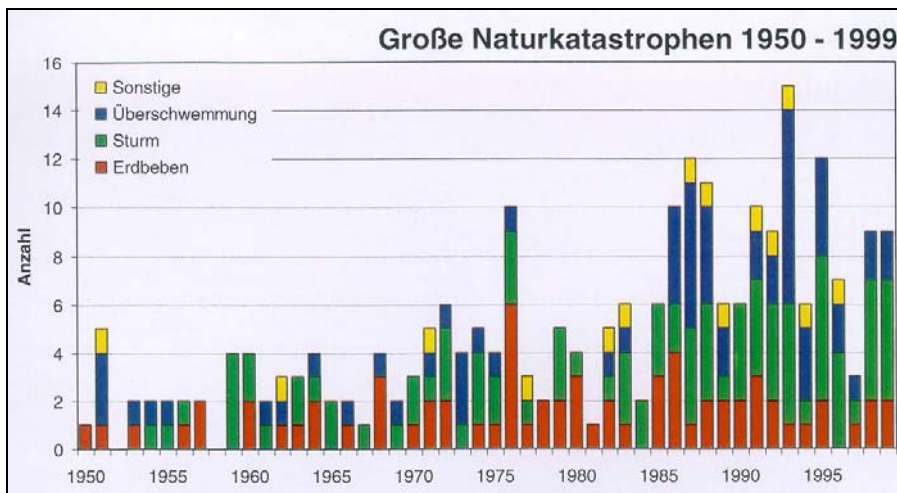


Abb.2-10: Anzahl der Naturkatastrophen weltweit (Münchener RE 2000)

Die Gletscher in der Nordhemisphäre gehen weiter zurück und durch die Erwärmung der Ozeane steigt das Meeresniveau weiter an. Modellergebnisse lassen derzeit einen Anstieg

des Meeresspiegels von bis zu 90 cm bei Verdoppelung der Treibhausgas-Konzentrationen erwarten.

Von besonderer Bedeutung ist die immer noch offene Frage nach der Abschwächung oder Verstärkung der ozeanischen Zirkulation (Abb.2-11), 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. Die jüngsten Berechnungen lassen jedoch in den nächsten 100 Jahren keine dramatischen Veränderungen erwarten.

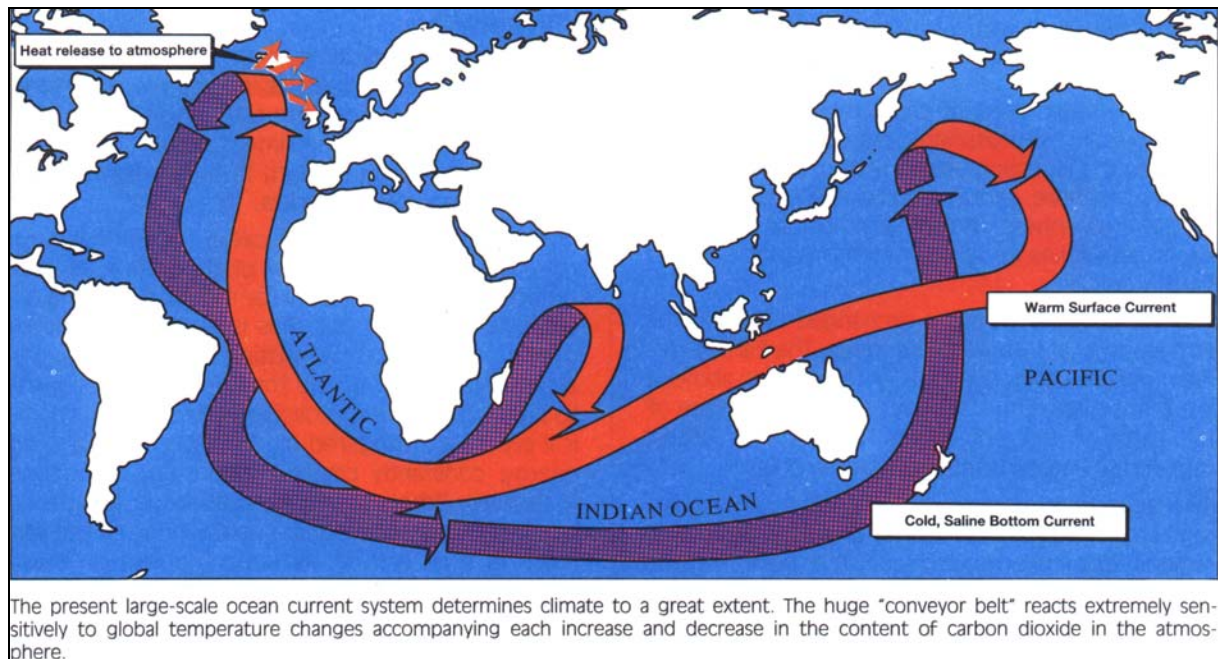


Abb.2-11: Thermohaline Zirkulation

Die GCMs können natürlich auch verwendet werden um den Beitrag einzelner Einflüsse auf das gesamte Klimageschehen zu erfassen (Abb.2-12). Nach diesen Modellen ist die Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen der größte einzelne Einflussfaktor. Vergleicht man die Klimaentwicklung (dargestellt anhand der globalen Mitteltemperatur, Abb.2-13) mittels GCM einmal unter ausschließlicher Berücksichtigung natürlicher Einflußgrößen (Vulkane, Schwankungen der Sonneneinstrahlung), dann unter ausschließlicher Berücksichtigung anthropogener Faktoren und schließlich bei Berücksichtigung beider Kategorien, so sieht man, dass die letzte Version den Messwerten am nächsten kommt. Gerade die starke Temperaturerhöhung in den letzten Jahrzehnten kann nur durch die Berücksichtigung anthropogener Einflüsse erklärt werden.

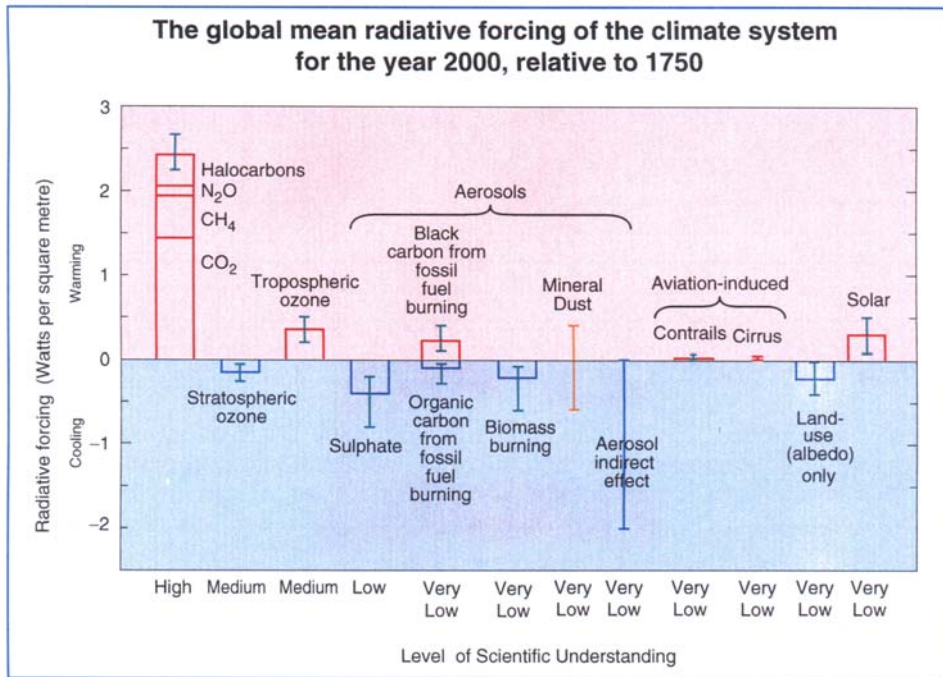


Abb.2-12: Relevanz der verschiedenen Einflussfaktoren (IPCC 2001).

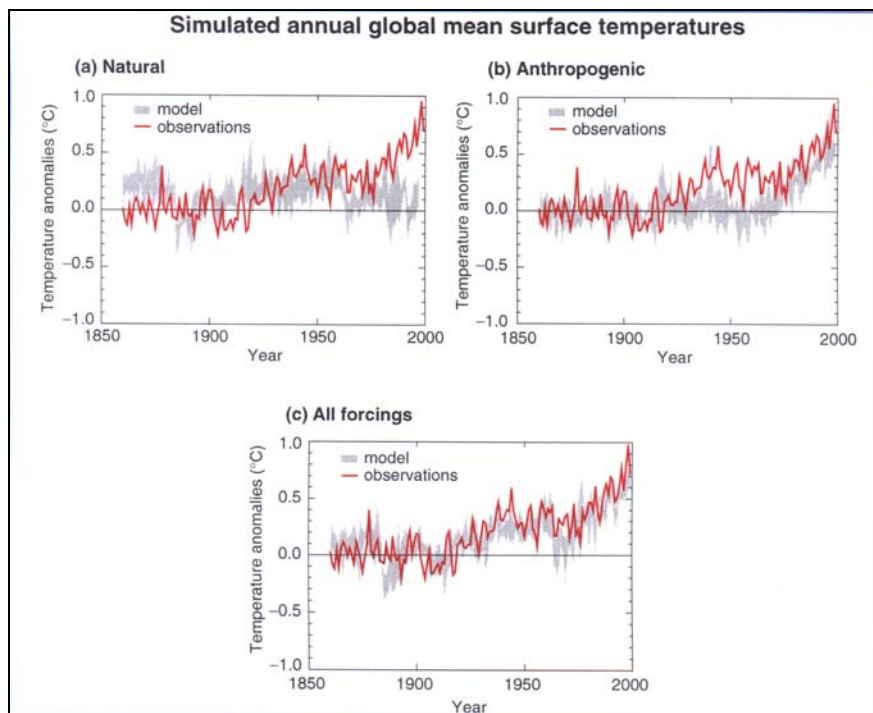


Abb.2-13: Szenarienberechnungen mit und ohne anthropogene Einflüsse (IPCC 2001).

2.5 Das Intergovernmental Panel on Climatic Change

Das Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) ist ein internationales Gremium von Wissenschaftlern, das ca. alle 5 Jahre eine Bestandsaufnahme des Wissens hinsichtlich der Klimaänderungen und ihrer Ursachen publiziert. Ein Gutteil der in den vorangegangenen

Aussagen beruht auf dem IPCC-Bericht 2001. Diese Publikationen werden in erster Linie erstellt, um der Klimapolitik eine wissenschaftliche Basis zur Verfügung zu stellen.

Die Bestandsaufnahmen selbst werden in einem aufwendigen Prozeß erarbeitet, in den zunächst führende Fachleute aus allen betroffenen Bereichen einbezogen werden, von denen die einschlägige publizierte Literatur, die ein sehr vielfältiges und z.T. auch divergierendes Bild der klimatischen Entwicklung weltweit zeichnet, gesichtet, nach ihrem wissenschaftlichen Gehalt bewertet und zusammengefasst wird. Jedem Land steht es frei eigene Fachleute in die Arbeitsgruppen und zu den Sitzungen zu entsenden. Der Berichtsentwurf, der von den Wissenschaftlern im Laufe mehrjähriger Arbeit erstellt wird, ergeht dann an die einzelnen Regierungen. Änderungsvorschläge - meist von Wissenschaftlern auf nationaler Ebene vorgebracht - werden vom IPCC bearbeitet. Obwohl politischer Einfluß hier fühlbar werden kann, bleibt es den Wissenschaftlern überlassen, die Änderungsvorschläge anzunehmen oder abzulehnen.

Die Zusammenfassung wird allerdings dann Satz für Satz zwischen Politikern verschiedener Interessensgruppen und Wissenschaftlern abgestimmt. Hierbei handelt es sich also um ein politisches Dokument, das aber wissenschaftlich gesehen nicht falsch ist. In der Regel gingen die Änderungen bisher in Richtung von Abschwächungen der Aussagen der Wissenschaftler. Treibende Kraft für diese Änderungen waren häufig die Staaten des mittleren Ostens, deren Wirtschaft wesentlich von der Erdölindustrie abhängt.

Das IPCC hat bisher 3 Bestandsaufnahmen publiziert, wobei eine deutliche Tendenz in Richtung größerer Sicherheit hinsichtlich der Ursache für die beobachteten Änderungen festzustellen ist: Während das IPCC in seinem Bericht im Jahr 1996 noch formulierte:

“The balance of evidence suggests a discernible human influence on climate.”,

lautet die Aussage im Jahr 2001 (noch vor der politischen Abstimmung):

“There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities.”

2.6 Die Argumente der “Skeptiker“

Vor und nach der 1997 in Kyoto, Japan, abgehaltenen COP3 („Conference of the Parties“ nach der 1994 in Rio ausgehandelten Klimakonvention), bei der eine gewisser Durchbruch bezüglich der Verbindlichkeit der Klimaschutzmaßnahmen erzielt werden konnte, wurde eine Gruppe von Wissenschaftlern sehr sichtbar, die den IPCC - Prozess und dessen Ergebnisse in Frage stellten. Sie hatten an dem an sich sehr offenen IPCC Prozess nicht teilgenommen, und waren weder in den wissenschaftlichen Zeitschriften mit Publikationen noch bei wissenschaftlichen Tagungen durch Vorträge präsent. Sie wurden in der Folge als “Klimaskeptiker“ bezeichnet. Mittlerweile ist es um diese Gruppe etwas ruhiger geworden, doch gerade jetzt, zum Zeitpunkt der Publikation eines neuen IPCC-Berichtes treten sie wieder in Erscheinung. Da deren Argumente von nicht Sachkundigen und in den Medien immer wieder vorgebracht werden, lohnt es sich, die vorgebrachten Argumente zu beleuchten.

Sieht man von polemischen Argumenten gegen den IPCC Prozess und z.T. persönlichen Attacken auf einzelne Personen innerhalb des IPCC ab, so kann man die Argumente in vier Kategorien gliedern, die auf folgenden Ansätzen beruhen:

- a) Aufgreifen bekannter Unsicherheiten und Schwächen der Beobachtungen und Modelle (Besonders beliebt ist das Ausspielen von Unterschieden in den Modellergebnissen, eine Tatsache, die vom IPCC genutzt wird, um die Bandbreite der möglichen Szenarien abzuschätzen.)
- b) Andere Interpretation von Daten, meist in Kombination mit Unsicherheiten (Ein Beispiel hierfür ist der Hinweis auf Diskrepanzen zwischen Satelliten- und Bodenmessungen, die aber weitgehend aufgeklärt sind.)

- c) Umbewertung der Folgen und Anbieten von technischen Lösungen für unerwünschte Folgen (Der Hinweis, dass erhöhte CO₂-Konzentrationen das Pflanzenwachstum fördern, ist hierfür ein Beispiel.)
- d) Einbringen tatsächlich neuer Aspekte in die Klimadiskussion. (Der einzige derartige Aspekt, der derzeit noch weiter verfolgt wird, ist die Frage der Erhöhung der Wolkenbildung durch kosmische Strahlung.)

Die letzte Kategorie ist die kleinste, aber vom wissenschaftlichen Standpunkt gesehen natürlich die einzig wirklich interessante.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Großteil der Argumente entweder im IPCC-Prozeß ohnehin berücksichtigt oder bereits widerlegt ist. Daß es einzelne Beobachtungen gibt, die nicht in das globale Bild passen, stellt dieses nicht a priori in Frage – es gibt wesentlich mehr Beobachtungen, die einem konstanten, oder vom Menschen nicht beeinflussten Klima widersprechen. Natürlich ist es zweckmäßig Abweichungen näher zu betrachten und Erklärungen zu suchen; das fördert das Gesamtverständnis.

2.7 Maßnahmen

Da derzeit zweifellos eine Klimaänderung stattfindet, ist es notwendig, sich mit möglichen Maßnahmen zur Minimierung der Änderung und/oder Adaption an die geänderten Bedingungen auseinander zu setzen. Bei den möglichen Maßnahmen kann man verschiedene Kategorien unterscheiden, die - je nach Kulturkreis und Weltbild - unterschiedliche Bewertung erfahren:

a) Maßnahmen zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen; d.h. Maßnahmen, die ihrem Charakter nach Präventiv-Maßnahmen 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 CO₂-Equivalents) erst nach 300 statt nach 70 Jahren ein (Abb. 2-14), wenn der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen von 1% auf 0,25% abgesenkt wird (IPCC 1996).

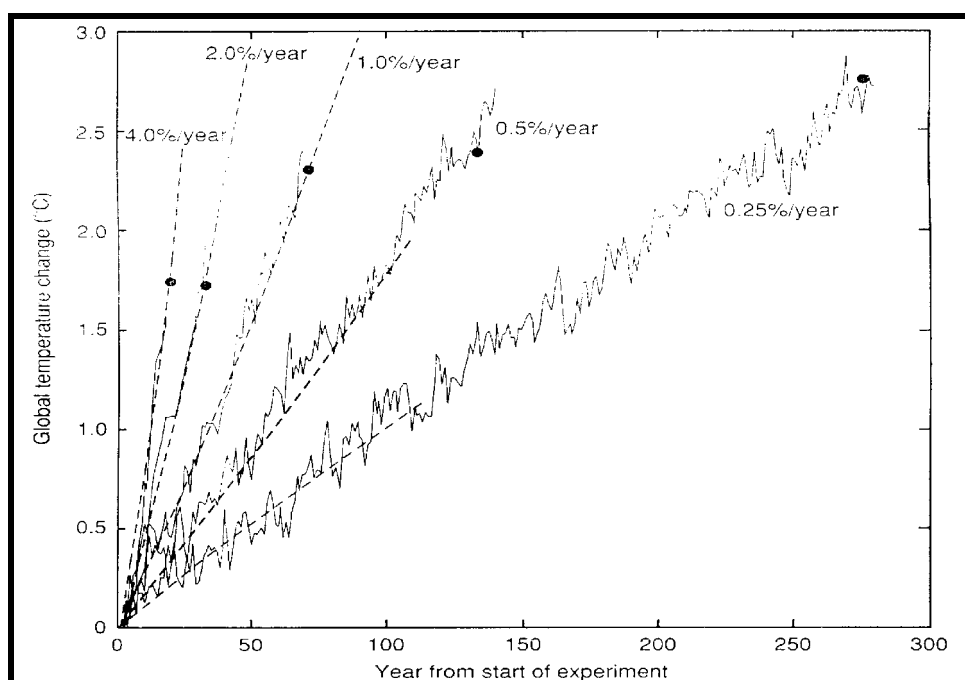


Abb. 2-14: Die Entwicklung der globalen Mitteltemperatur in Abhängigkeit zur verwendeten Treibhausgaskonzentrationsänderung bis zur Verdoppelung des CO₂ - Äquivalentes. (IPCC 1996).

b) 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, Adaptionmaßnahmen zu ergreifen, etwa um den Wintertourismus den geänderten Schneesverhältnissen anzupassen oder die vom Wintertourismus abhängigen Gemeinden auf andere Einnahmequellen auszurichten. Da nicht vorhergesagt werden kann, wie das zukünftige Klima tatsächlich beschaffen sein wird, ist eine ganz entscheidende Forderung an alle Anpassungsmaßnahmen, daß sie in erster Linie die Flexibilität der Systeme erhöhen müssen.

c) 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. Diese Maßnahmenkategorie wird daher von Vielen nicht als gangbarer Lösungsweg angesehen.

3 Auswirkungen auf den alpinen Raum

3.1 Einleitung

Die alpine Umwelt könnte durch globale Klimaänderungen besonders stark unter Druck geraten, einerseits weil Gebirgsregionen besonders empfindlich gegenüber Klimavariationen sind, wie z.B. die Schwankungen der Schnee- und der Baumgrenze im Maßstab von Jahrhunderten und Jahrzehnten zeigen, andererseits weil der alpine Raum im Einflußbereich von vier Klimaten - mediterran, atlantisch, kontinental und polar - liegt und eine globale Klimaänderung - z.B. eine Verlagerung des Westwindbandes - sich u.a. in der Verschiebung der relativen Bedeutung dieser vier Klimate äußern würde. Dies bedeutet, daß Änderungen im alpinen Raum überproportional ausfallen könnten. Es sind auch nicht nur quantitative Änderungen zu betrachten - z.B. der Niederschlagsmenge - sondern auch qualitative, wie ob der Niederschlag als Regen oder Schnee fällt. Schnee ist z.B. besonders wichtig für Ökologie und Ökonomie.

Die Alpen als Gebirgsstock, der weit in die Troposphäre hineinragt, beeinflussen ihrerseits das groß- und kleinräumige Klima durch Modifikation der Struktur der synoptischen Systeme (z.B. durch Zyklonogenese), durch Induktion von Schwerewellen und Blocking Lagen, durch erhöhte Niederschlagsbildung etc.

3.2 Methoden der Regionalisierung

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, komplexe Gebiet wie den Alpenraum noch nicht befriedigend gelöst. Dementsprechend gibt es keine belastbaren, umfassenden Klimaszenarien-Berechnungen für den Alpinen Raum - ein Manko, das dringend behoben werden sollte.

3.3 Szenarien Berechnungen

Erste Ergebnisse einer Regionalisierung eines GCM-Szenariums für ganz Österreich (Mattulla et al. 2001) zeigen – je nach globalem Szenarium Temperaturerhöhungen von 2C bis 3.5C bis zum Jahr 2035 (Abb.3-1), bei globaler Erwärmung von 1 bis 2C (einmal unter Berücksichtigung der dämpfenden Wirkung der Aerosole, einmal ohne diese). Hinsichtlich des Niederschlages (Abb.3-2) ergibt sich ein differenzierteres Bild, das vor allem Niederschlagsabnahmen erwarten lässt. Da bekannt ist, dass die regionalen Szenarien derzeit noch stark abhängig sind von der angewandten Methodik, können diese Ergebnisse mit Fortschritten in der Methodik noch starken Veränderungen unterliegen. Ihre Bedeutung ist im Lichte dieses Wissens zu bewerten.

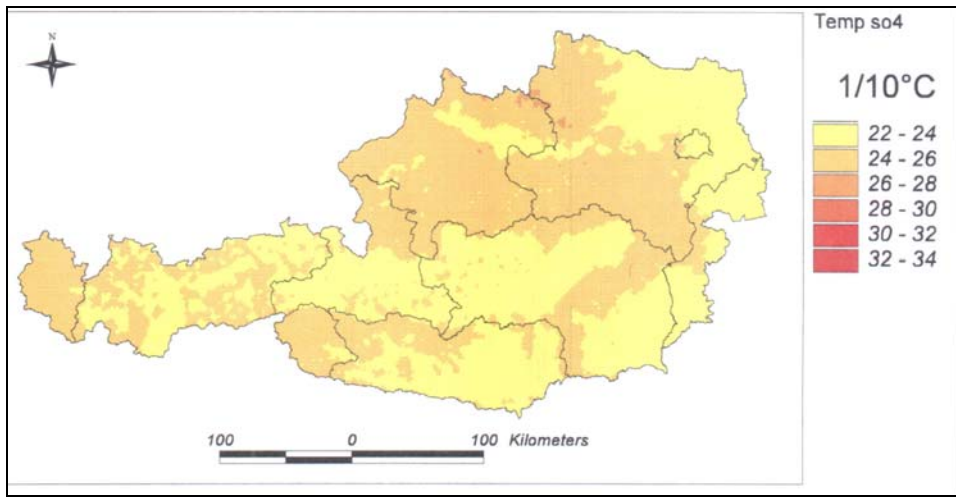
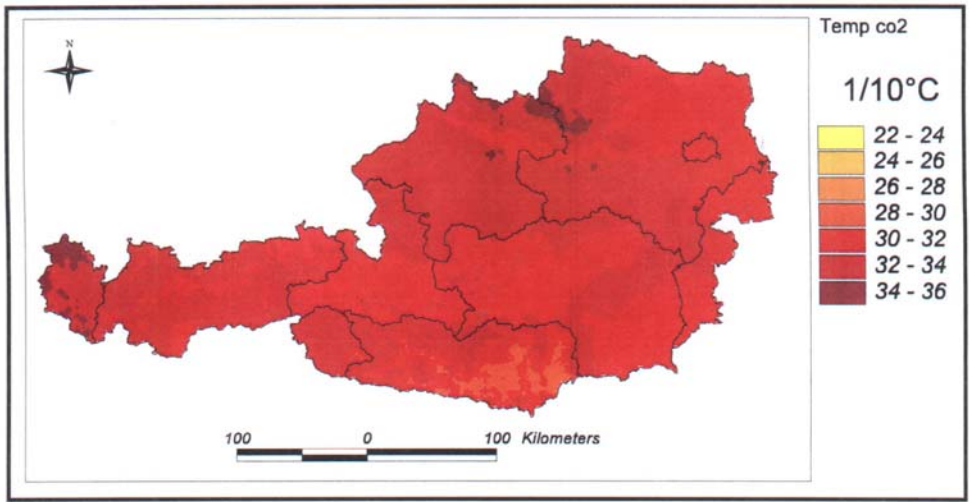
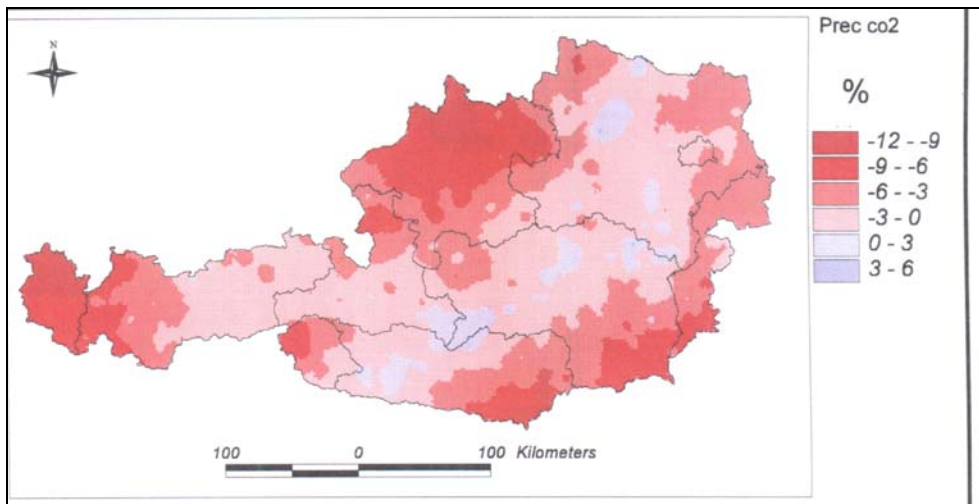


Abb.3-1: Temperaturänderungen in Österreich gegenüber dem Mittelwert 1961 – 1995 für das GCM-Szenarium IS92a. A) ohne Berücksichtigung der Aerosole, B) mit Berücksichtigung der Sulfataerosole



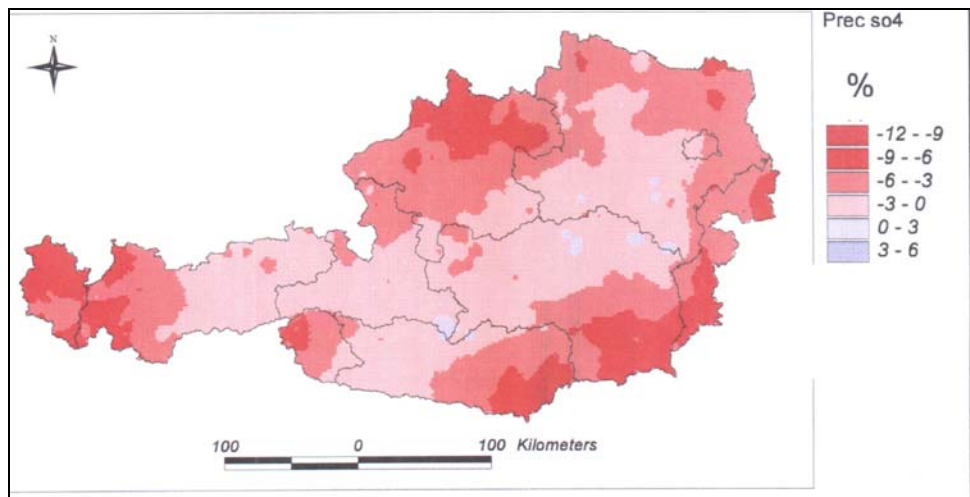


Abb.3-2: Niederschlagsänderungen in Österreich gegenüber dem Mittelwert 1961 – 1995 für das GCM-Szenarium IS92a A) ohne Berücksichtigung der Aerosole, B) mit Berücksichtigung der Sulfataerosole

Für einzelne Fragestellungen oder für räumlich begrenzte Gebiete finden sich in der Literatur weitere 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 Permafrostgebietes aufgetaut sein wird, und 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 (NFP31 1998).

Von Lexer et al. (2000) 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.

Im Fall einer Klimaerwärmung ist auch mit einer rascheren Entwicklung von Schädlingen zu rechnen, Krankheitserreger könnten in Gebiete vordringen, in welchen sie derzeit unbekannt sind (IPCC 1996).

Von besonderer Bedeutung könnten aber die sozialen Probleme werden, die durch Klimaflüchtlinge hervorgerufen werden (ÖAW 1993).

Für die vorliegende Fragestellung nach den klimatischen Voraussetzungen für den Wintertourismus in Salzburg sind vor allem vier Studien von Interesse, die in Abschnitt 4.2 dargestellt werden.

4 Klima und Wintertourismus in Salzburg

4.1 Einleitung

Es sei einleitend nochmals betont, dass die nun folgenden Analysen auf der Basis leicht zugänglicher meteorologischer Daten und der publizierten Klimaszenarien keine gründliche, wissenschaftlich belastbare Untersuchung darstellten und eine tiefgreifende, umfassendere, spezifisch auf die Fragestellung ausgerichtete Untersuchung nicht ersetzen können. Sie können lediglich als erste Abschätzung angesehen werden, um zu entscheiden, ob die Klimaänderung für die Entwicklung des Wintersportes in Salzburg relevant sein könnte und ob ausführlichere Untersuchungen erforderlich oder erwünscht sind.

4.2 Analyse der vergangenen Winter

Eine ausführliche Analyse der Veränderungen der vergangenen Jahre in Salzburg liegt nicht vor, einige Einzelanalysen konnten jedoch im Rahmen der Arbeit der Arbeitsgruppe „Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus“ durchgeführt werden.

Wie zuvor ausgeführt, ist die Temperatur in ganz Österreich in den letzten 100 Jahren deutlich angestiegen, wobei die Temperaturerhöhung in tiefen Lagen etwas geringer ausgefallen ist, als in höheren Lagen (Abb. 4-1, nach Böhm 1998). Für Salzburg (Flughafen) zeigt der Verlauf der Wintersaisonmittel (November bis April) ein ähnliches Verhalten (Abb. 4-2) mit einer Temperaturzunahme von etwas über 1 Grad in 50 Jahren.

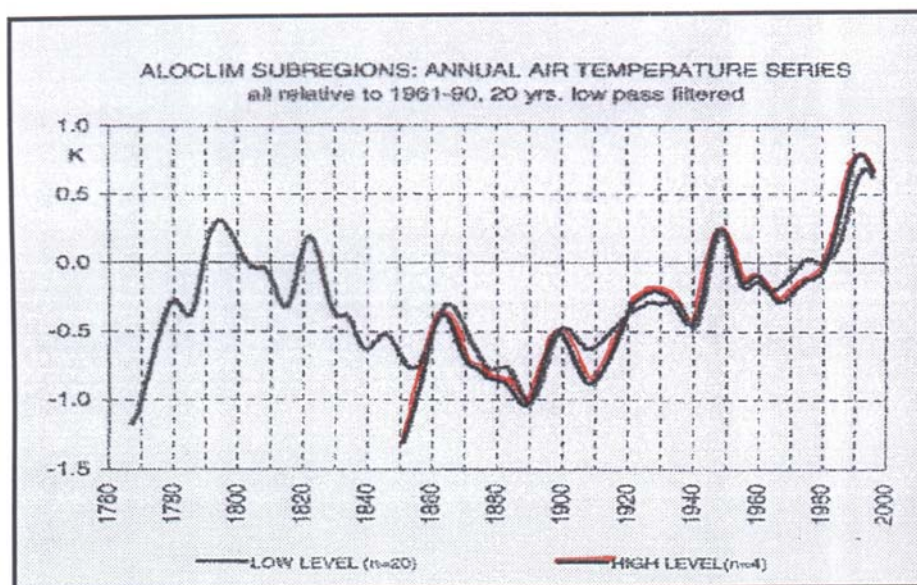


Abb. 4-1: Mittlerer Temperaturverlauf in Österreich 1770 – 1998 für niedrige (schwarz) und hoch (rot) gelegene Stationen (Böhm et al. 1998). Die Temperatur der hoch gelegenen Stationen ist etwas stärker angestiegen als jene an den niedrig gelegenen Stationen.

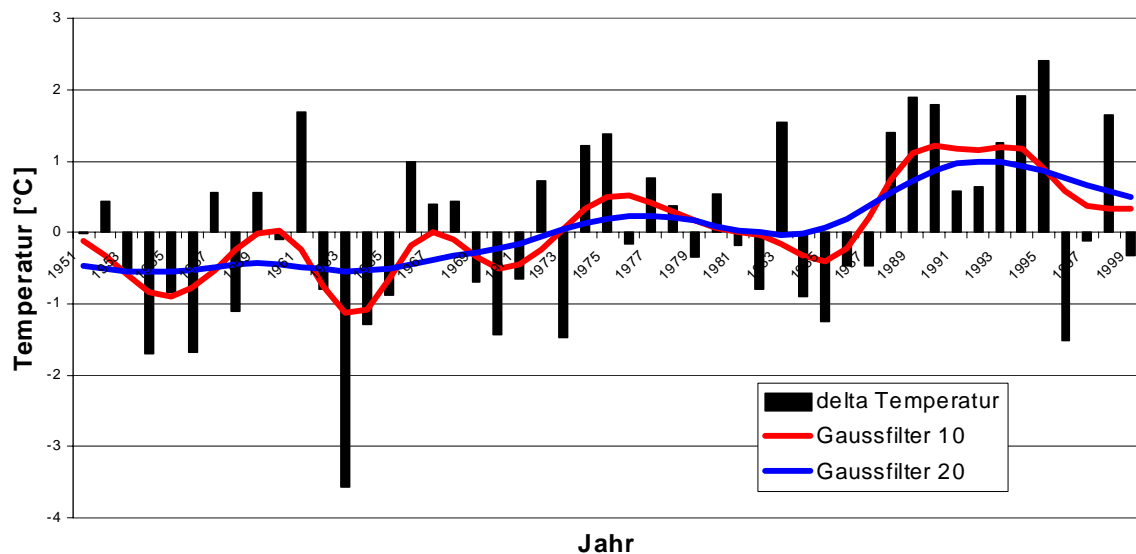


Abb. 4-2: Abweichung der Temperaturen seit 1950 vom 30-jährigen Mittelwert (1961 – 1990) an der Station Salzburg Flughafen. Die geglätteten Werte (rote Linie: Mittelung über 10 Jahre, blaue Linie: Mittelung über 20 Jahre) zeigen diese Zunahme noch deutlicher als die stark schwankenden Einzelwerte (schwarze Säulen).

Dies gilt auch für höher gelegenen Stationen. Von sieben Stationen in Salzburg (Tabelle 4-1), die alle Höhenstufen abdecken, wurde der klimatologische Mittelwerte (November bis April) der Periode 1961-90 jenem der neunziger Jahre gegenübergestellt. Es zeigt sich, daß die neunziger Jahre (1990 – 1999) um rund 1 Grad wärmer waren als die Periode 61-90 und zwar in allen Höhenstufen (siehe Abb. 4-3).

Tab. 4-1: Auswahl von Stationen in Salzburg, die für die folgenden Untersuchungen herangezogen wurden.

Station	Seehöhe [m]
Hoher Sonnblick	3106
Rudolfshütte	2309
Schmittenhöhe	1964
Bad Gastein	1100
Radstadt	845
Zell am See	753
Salzburg Flughafen	430

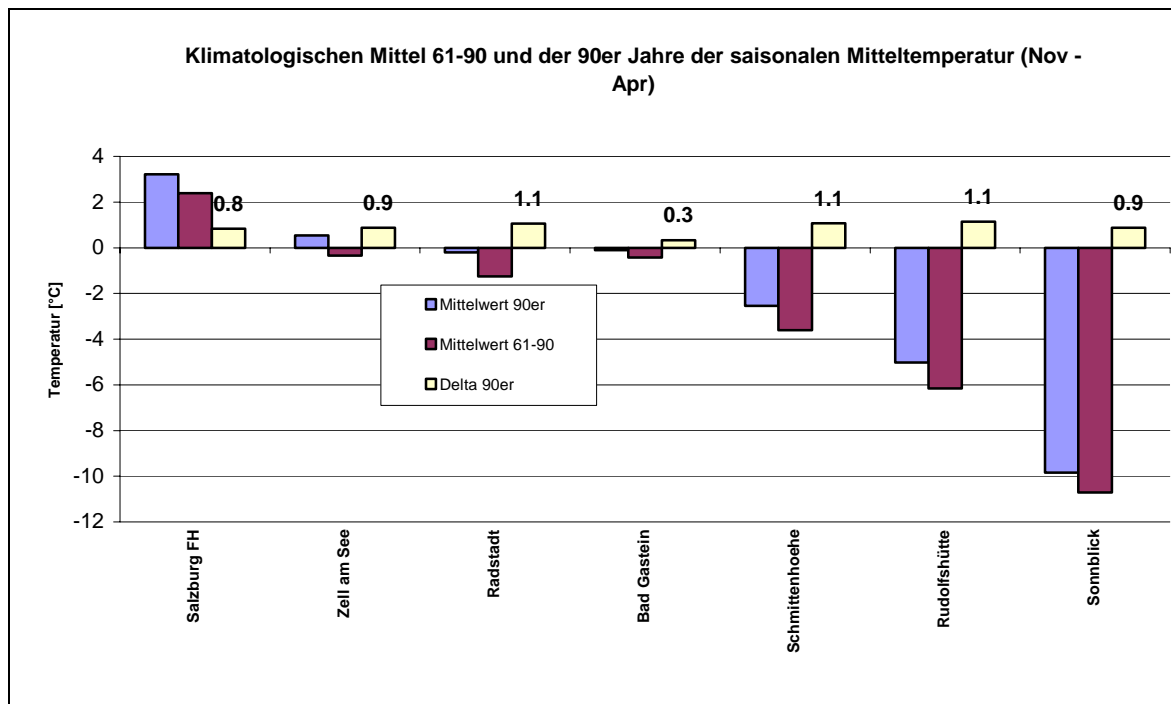


Abb. 4-3: Vergleich der saisonalen Mitteltemperatur des 30 jährigen Mittels (1961-90) mit den 90er Jahren (1990-99) an 7 Stationen unterschiedlicher Höhenlage in Salzburg.

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der Andauer der Schneedecke, so ergibt sich erwartungsgemäß eine deutliche Höhenabhängigkeit. Für Schneedecken größer als 5 cm ist in den Lagen unterhalb von 1000 m eine Reduktion der Dauer von rund 2 Wochen festzustellen, darüber tritt keine wesentliche Änderung ein (Abb. 4-5). Für Schneedecken größer als 20 cm tritt eine Reduktion der Dauer bis in zirka 1500 m Höhe auf, und zwar in einem Ausmaß von rund einer Woche (Abb. 4-6).

Mittlere Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer als 5 cm im klimatologischen Mittel und in den 90er Jahren von November bis April

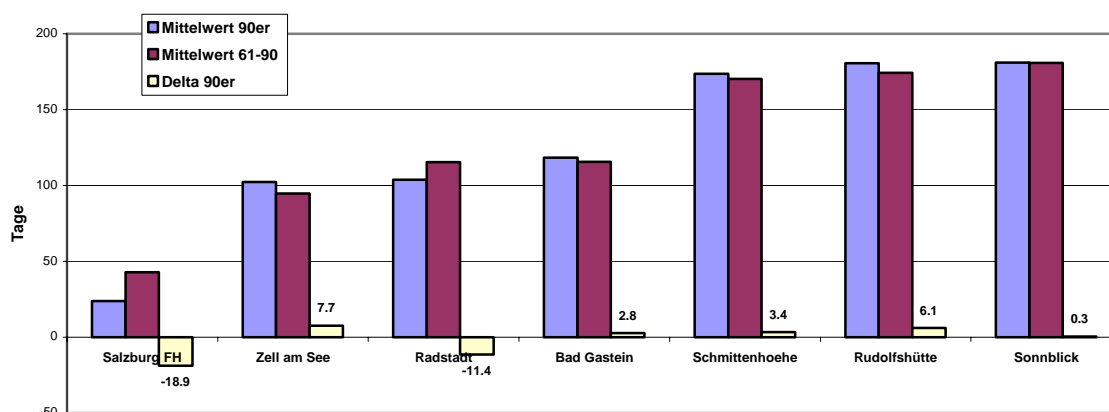


Abb. 4-4: Anzahl der Tage mit Schneehöhen größer als 5 cm während der Wintersaison (November bis April)

Mittlere Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer als 20 cm im klimatologischen Mittel und in den 90er Jahren von November bis April

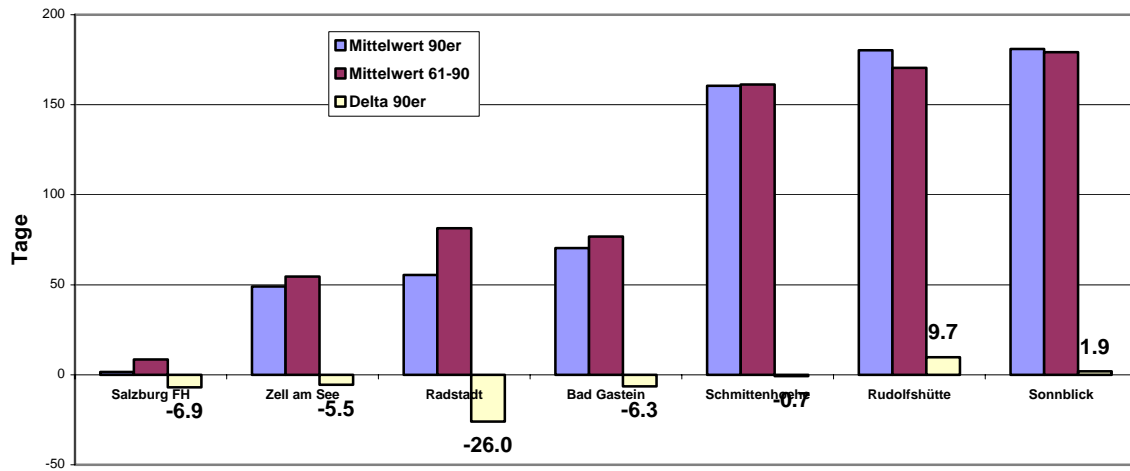


Abb. 4-5: Anzahl der Tage mit Schneehöhen größer als 20 cm während der Wintersaison (November bis April)

Reiht man die vergangenen 51 Jahre nach der Temperaturabweichung vom Mittelwert (Abb. 4-6) so sieht man, dass der Zusammenhang mit der Andauer der Schneedecke in Salzburg Flughafen zwar nicht sehr streng, aber, vor allem bei den besonders warmen und den besonders kalten Jahren – doch sehr ausgeprägt ist. Man kann diese Abhängigkeit klarer erkennen, wenn man die mittleren Verhältnisse mit jenen während der 10 wärmsten Jahren der verfügbaren Zeitreihe vergleicht. Diese Betrachtungsweise ist auch in Hinblick darauf von Interesse, dass die Zukunftsszenarien häufig durch Temperaturerhöhungen definiert werden. Ein Vergleich zwischen dem 30-jährigen Mittel und den zehn wärmsten Jahren der gesamten Beobachtungsreihe (seit 1948) zeigt (Abb. 4-7), dass der Temperaturunterschied dann – wiederum in allen Höhenstufen - auf etwa 1.5 Grad ansteigt.

Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer 5 cm bzw. 20 cm in Habhängigkeit zur Temperatur in Salzburg im Jänner

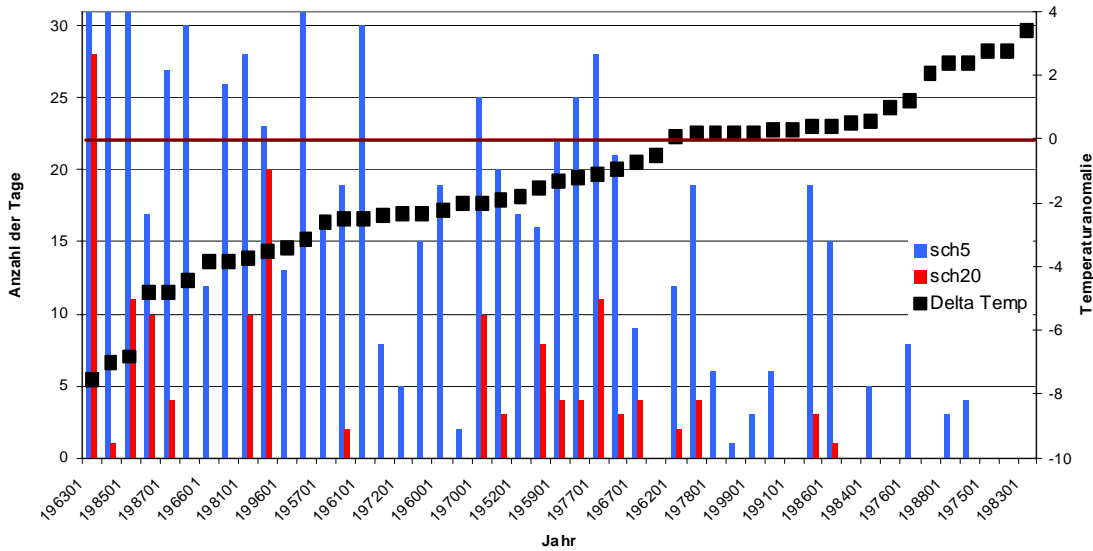


Abb. 4-6: Anzahl der Tage mit Schneedecke größer 5 bzw. 20 cm in Abhängigkeit von der Temperatur in Salzburg (Jahre gereiht nach der Temperaturanomalie)

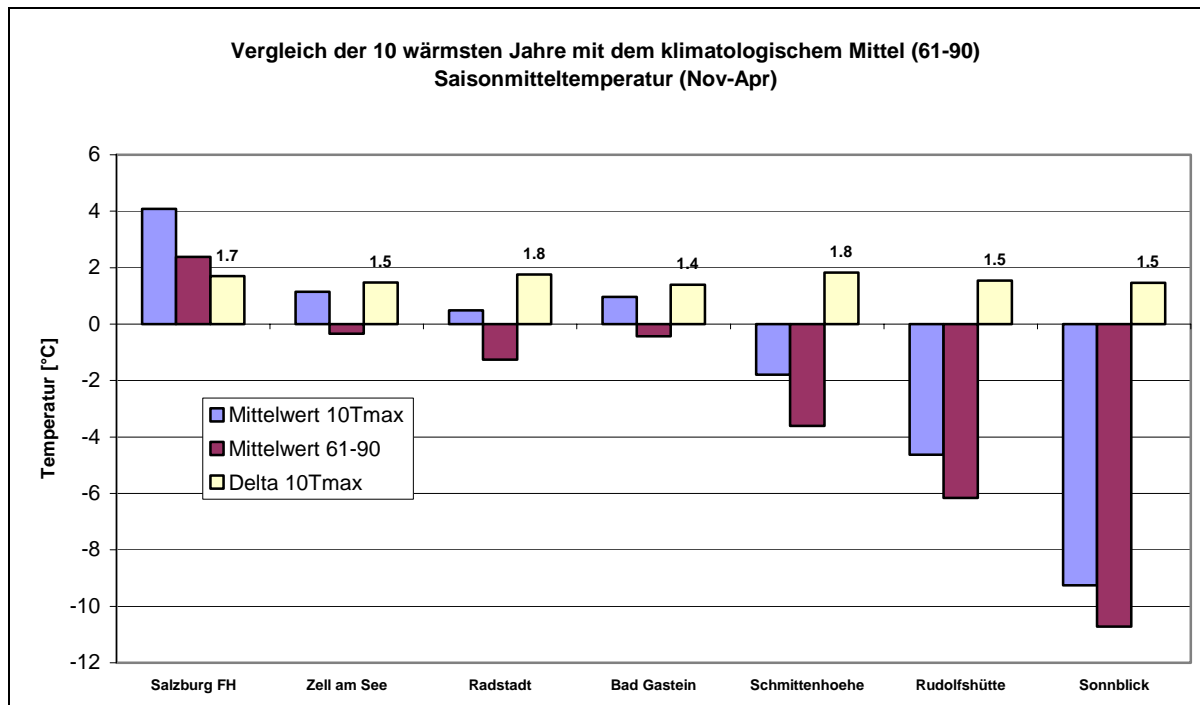


Abb. 4-7: Vergleich der saisonalen Mitteltemperatur des 30 jährigen Mittels (1961-90) mit den zehn wärmsten Jahren der Periode 1948 - 1999.

Die nur um rund 0.5 Grad zusätzliche Erwärmung in den zehn wärmsten Jahren gegenüber den zehn letzten Jahren zeigt starke Auswirkungen auf das Verhalten der Schneedecke. Bei 5 cm reicht die Reduktion bis auf 2000 m hinauf und beträgt rund 3 Wochen (Abb. 4-8). Auch für 20 cm reicht die Reduktion bis zirka 2000 m und beträgt rund 2.5 Wochen, wobei hier in den Flachlandgebieten von Salzburg eine Reduktion auf nahezu Null erfolgte (Abb. 4-9). Das

heißt, dass sowohl das Ausmaß der Reduktion als auch die Höhe, bis in welche die Veränderung spürbar ist, stark zugenommen hat. Dies zeigt den stark nichtlinearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Dauer von Schneedecken.

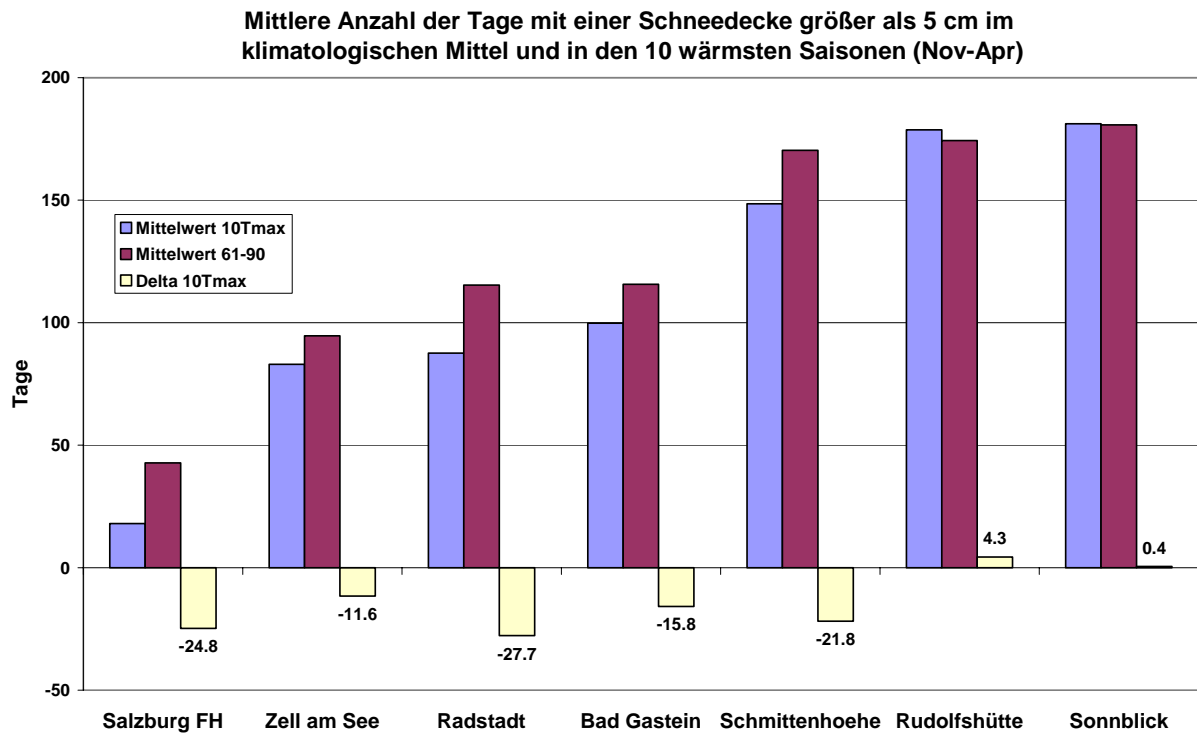


Abb. 4-8: : Anzahl der Tage mit Schneehöhen größer als 5 cm während der Wintersaison (November bis April) im 30 jährigen Mittel und die 10 wärmsten Jahre.

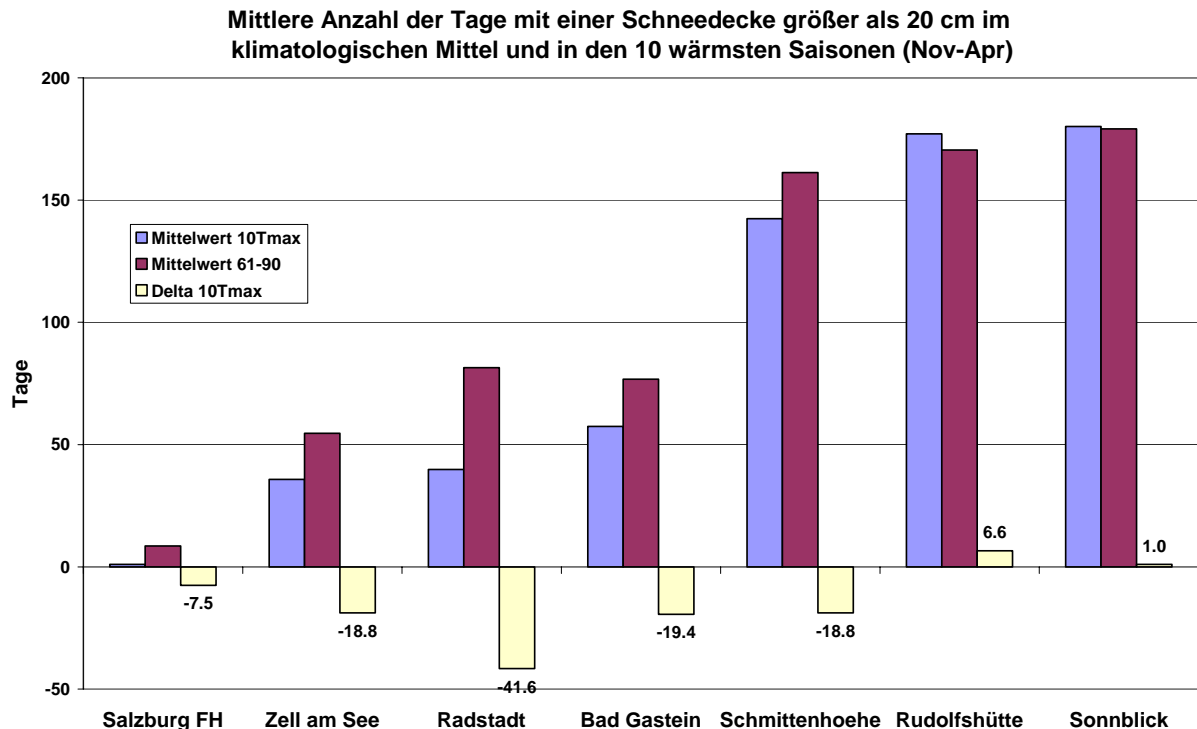


Abb. 4-9: Anzahl der Tage mit Schneehöhen größer als 20 cm während der Wintersaison (November bis April) im 30 jährigen Mittel und die 10 wärmsten Jahre.

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass die Temperatur in Salzburg einen deutlichen Trend aufweist, der über alle Höhenbereiche etwa gleich ist. Die Andauer der Schneedecke ist vor allem in der Niederung (bis etwa 1500 m) rückläufig. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Andauer der Schneedecke ist nicht sehr streng, aber über 10 Jahre gemittelt doch sehr ausgeprägt. Geringfügige Temperatursteigerungen haben überproportionale Auswirkungen auf die Andauer der Schneedecke und führen vor allem zu einem Anstieg des betroffenen Höhenbereiches: +0,5 C im Saisonmittel bedeutet einen Anstieg des betroffenen Bereiches von ca. 1000 m auf ca. 2000 m.

4.3 Szenarien für die Zukunft

Abschätzung zukünftiger Klimaszenarien und der Schneeverhältnisse im Bundesland Salzburg lassen sich aus vier einschlägigen Analysen, die in hinreichendem Detail publiziert sind, näherungsweise ableiten:

- (a) Die erste Abschätzung der Auswirkung einer Klimaänderung auf die Andauer der Schneedecke wurde im Rahmen einer umfassenden Studie der ÖAW zu Klimaänderungen und möglichen Auswirkungen dieser in Österreich (ÖAW, 1993) durchgeführt, wobei die zugrundeliegende klimatische Statistik später noch verbessert wurde (siehe (b)). Sie zeigte auf, dass in ca. 90 % aller Österreichischen Wintersportorte eine Erwärmung um 2C im Winter die Wirtschaftlichkeit des Wintertourismus in Frage stellen würde. Da die Sommersaison in den meisten dieser Gemeinden nur zusammen mit der Wintersaison rentabel ist, müssten diese Orte alternative Lösungen suchen.
- (b) Die Fortführung dieser Arbeit (Hantel et al., 2000) diente der Weiterentwicklung der statistischen Methodik. Aussagen zu den wirtschaftlichen Konsequenzen sind darin nicht enthalten. Für alle österreichischen Stationen (einzeln und zusammen) wurde die Anzahl der Tage mit einer Schneedecke grösser als 5 cm in einen statistischen Zusammenhang mit der europäischen Mitteltemperatur, definiert nach Jones,

gebracht. Unter der Annahme einer europäischen Temperaturerhöhung von 1°C ergibt sich für ganz Österreich für den Winter (Dez., Jan., Feb.) eine maximale Reduktion von 31 Tagen und zwar für die Höhenlagen um 550 m. Für das Frühjahr (März, April, Mai) sogar 42 Tage, und das in den Höhenlagen um 1350 m. Durch die eingradige Erwärmung wandern diese sensibelsten Gebiete nach oben und zwar im Winter auf 900 m Seehöhe und im Frühjahr auf 1900 m Seehöhe. Die Ergebnisse für die Salzburger Stationen sind in Abb 4-10 für das Frühjahr dargestellt.

- (c) Eine vom meteorologischen Ansatz einfachere Studie von Breiling et al. (1998), die aber auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Änderungen einschließt ergibt bei 2°C Erwärmung eine Verschiebung der Schneeverhältnisse um 100 bis 200 m nach oben. Dies lässt schwere Instabilitäten im Wirtschaftsgefüge mancher Wintertourismusgebiete erwarten. Eine Temperaturerhöhung um 2°C beurteilt diese Studie als wirtschaftlich verkraftbar, ein weiterer Anstieg um 1°C jedoch bewirkt den Ausfall der wichtigsten Skigebiete.
- (d) Wesentlich komplexere Berechnungen der Änderungen in der Andauer der Schneedecke wurden im Rahmen des Bayrischen Klimaforschungsprogrammes BAYFORKLIM für ein regionales Klimaänderungsszenario (Bayforklim, 2000) welches für den Zeitraum 2050 eine Erwärmung für Südbayern im Winter von rund 1°C ergab, durchgeführt. Kleeberg (1999) produzierte aufbauend auf diesem Szenario eine Datenbank mit Rasterdaten mit 1 km Auflösung für ganz Bayern, die historische Schneebedingungen, die Bedingungen nach der Erwärmung und deren Differenz beinhaltet. In Abb.4-11 sind die Regionen von Bayern dargestellt, die an Österreich angrenzen. Die Darstellung zeigt die Änderung der Andauer einer Schneedecke grösser als 20 cm über die ganze Saison. Die Reduktion nimmt mit der Höhe zu und beträgt maximal rund 30 Tage.

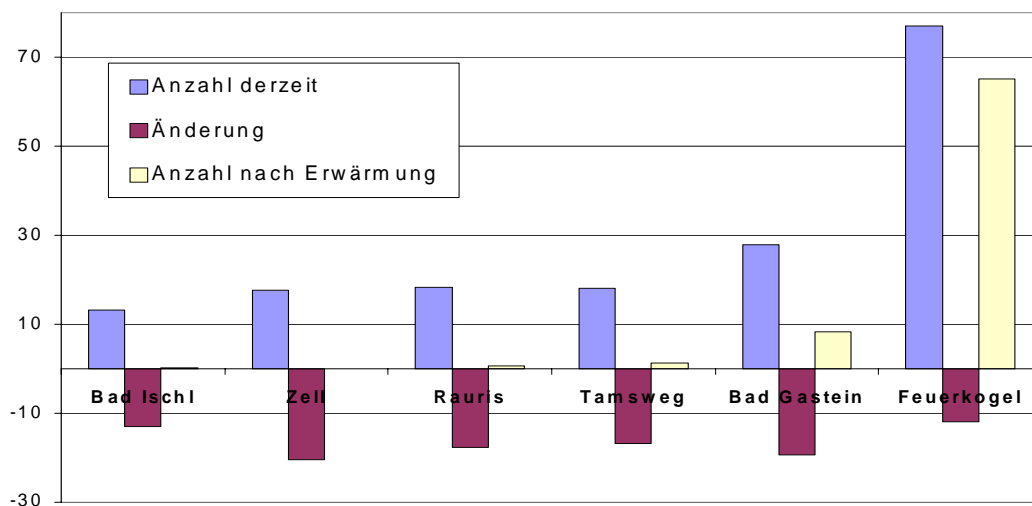


Abb.4-10: Die Änderung der Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer als 5 cm bei einer Erhöhung der europäischen Mitteltemperatur um 1 °C für Salzburger Stationen im Frühjahr (März -Mai) nach Hantel et al. 2000.

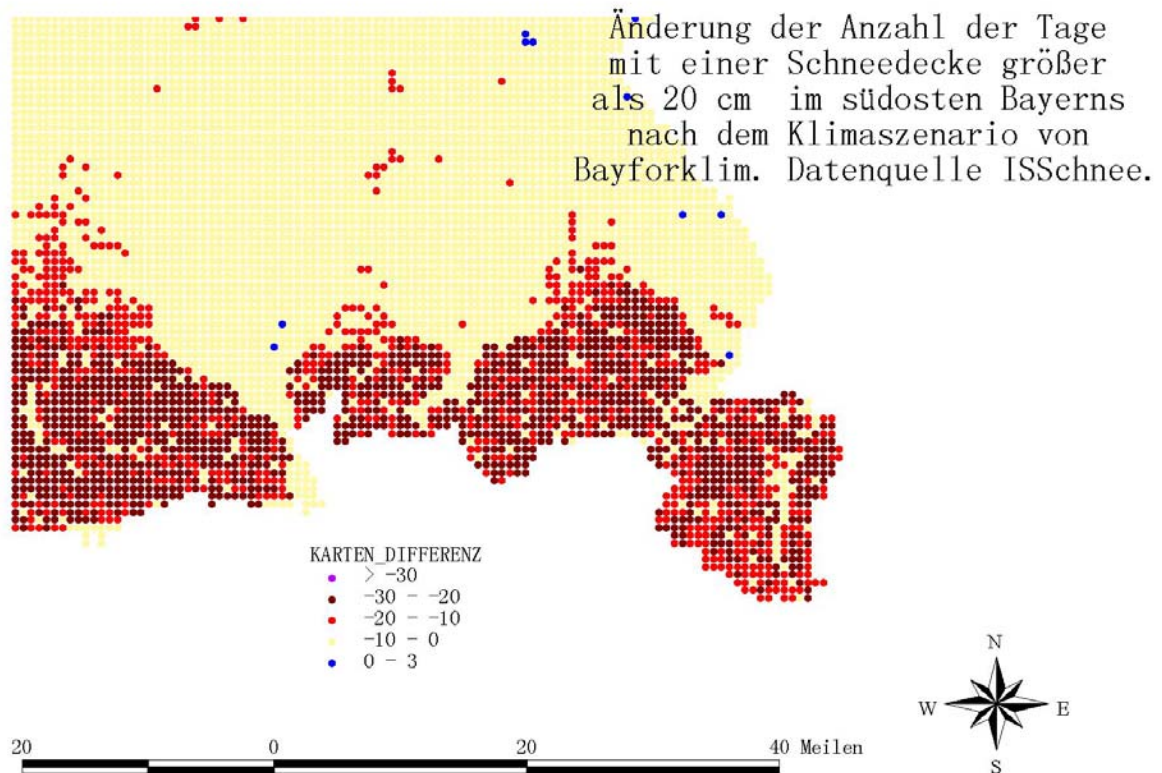


Abb.4-11: Änderung der Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer 20 cm nach dem Klimaänderungsszenario von BAYFORKLIM nach Kleeberg 1999

Obwohl diese Ergebnisse nicht unmittelbar vergleichbar sind, da jeweils andere Szenarien und verschiedene Schneebedingungen untersucht wurden, kann man unter Berücksichtigung der Unterschiede und der resultierenden Tendenzen dennoch eine Konsistenz der Ergebnisse feststellen.

Auf der Basis dieser Studien und der zuvor beschriebenen Datenanalysen ist daher in Salzburg davon auszugehen, dass sich der bisher beobachtete Trend der Temperaturzunahme und damit verbunden auch einer Abnahme der Andauer der Schneedecke fortsetzen wird. Wegen der starken Nichtlinearität des Zusammenhanges, wird sich der Trend vermutlich sogar verstärken. Gleichzeitig werden immer größerer Höhen von diesem Trend erfasst werden.

4.4 Künstliche Schneeproduktion

In vielen Skigebieten wird versucht, durch Einsatz von Schneekanonen die Schneesicherheit zu garantieren; infolge dessen hat sich die beschneite Fläche in Salzburg zwischen 1997 und 2000 verdoppelt (Abb 4-12). Inwieweit diese Lösung vom Standpunkt der Umweltimplikationen und des Ressourcenverbrauches wünschenswert ist, soll hier nicht diskutiert werden. Da jedoch auch diese Maßnahme klimaabhängig (vor allem temperaturabhängig) ist, wurden auch die Temperaturminima der letzten Jahrzehnte analysiert. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass das Tagesminimum der Temperatur zumindest negativ sein muss, damit ein Einsatz von Schneekanonen möglich ist. Breiling geht in seiner Arbeit (Breiling 1997) von mindestens minus 2 Grad aus, daher wurden die Analysen zusätzlich auch für diesen Schwellenwert durchgeführt.

Die Entwicklung der beschneiten Flaechen fuer Salzburg seit 1997 in ha

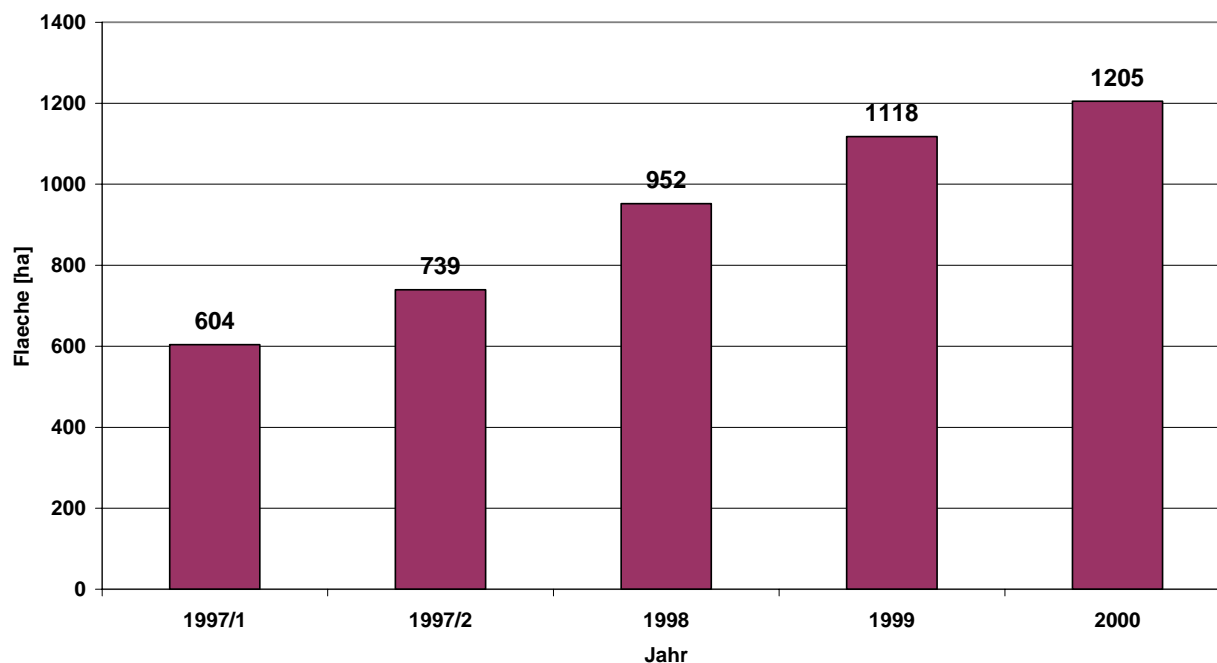


Abb. 4-12: Entwicklung des Schneekanoneneinsatzes im Land Salzburg innerhalb der letzten vier Jahren.

Für die Station Zell am See (als Vertreter für Talstationen von Skigebieten) und für die Schmittenhöhe (für die Bergstationen) wurde die relative Häufigkeit des Unterschreitens der beiden Schwellenwerte sowohl für die Wintersaison als auch für die einzelnen Monate untersucht. Dazu wurden die Tageswerte der Periode 1948 bis 2000 verwendet. Um eine Temperaturerhöhung von 1°C bzw. 2°C zu simulieren, wurde zu den einzelnen Tageswerten der jeweilige Betrag addiert, und danach erneut die relative Häufigkeit bestimmt. Dies ist eine zwar nicht sehr realitätsnahe, aber doch häufig praktizierte Vorgangsweise, die zumindest eine grobe Abschätzungen hinsichtlich der Auswirkungen zulässt. Die Ergebnisse sind in Abb. 4-13 dargestellt.

Für Zell am See ergibt sich, dass für jedes Grad Temperaturerhöhung die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für die Schwellenwerte um rund 10 % sinkt, wobei heute die Wahrscheinlichkeit im Saisonmittel bei 70 % (Schwellenwert 0°C) und bei 50 % (Schwellenwert -2°C) liegt. Die Schmittenhöhe reagiert nicht so stark. Hier beträgt die Reduktion nur rund 5 % pro Grad Temperaturerhöhung, wobei die momentane Wahrscheinlichkeit bei 85 % (Schwellenwert 0°C) und 75 % (Schwellenwert -2°C) liegt.

Relative Häufigkeit des Auftretens von Minimumtemperaturen kleiner Null bzw. -2 Grad historisch und bei einer 1 und 2 gradigen Erwärmung in Zell am See

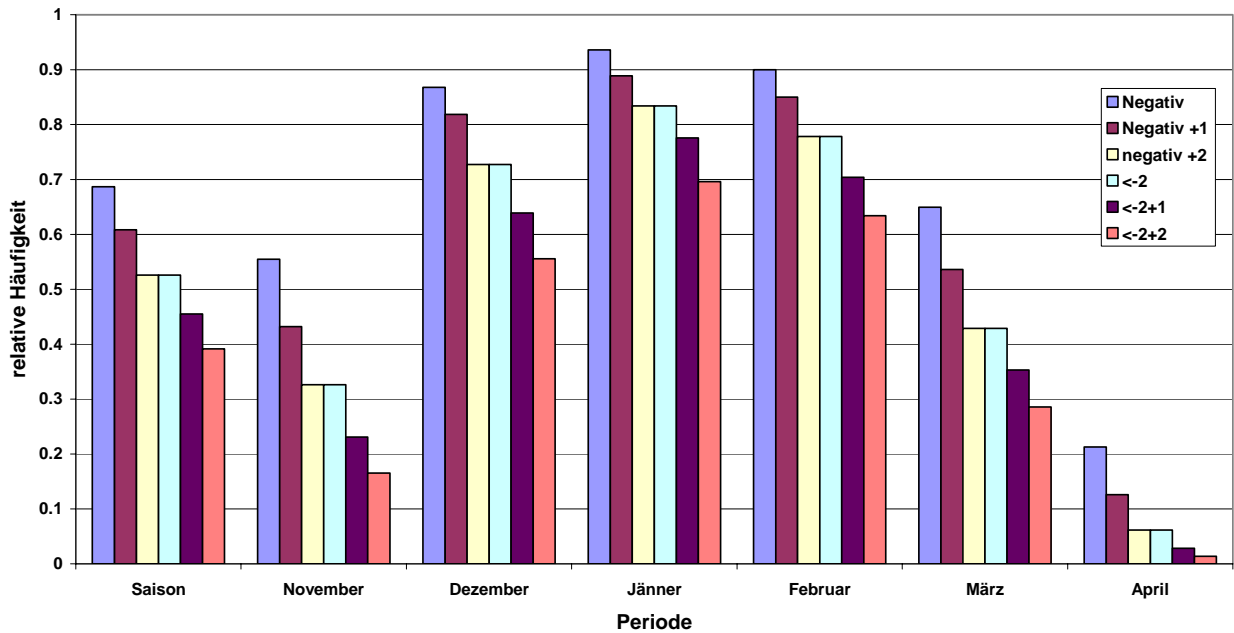


Abb. 4-13: Relative Häufigkeit des Auftretens von Minimumtemperaturen kleiner Null bzw. -2 Grad historisch und bei einer Erwärmung von 1 und 2C in Zell am See

Relative Häufigkeit des Auftretens von Minimumtemperaturen kleiner Null bzw. -2 Grad historisch und bei einer 1 und 2 gradigen Erwärmung auf der Schmittenhöhe

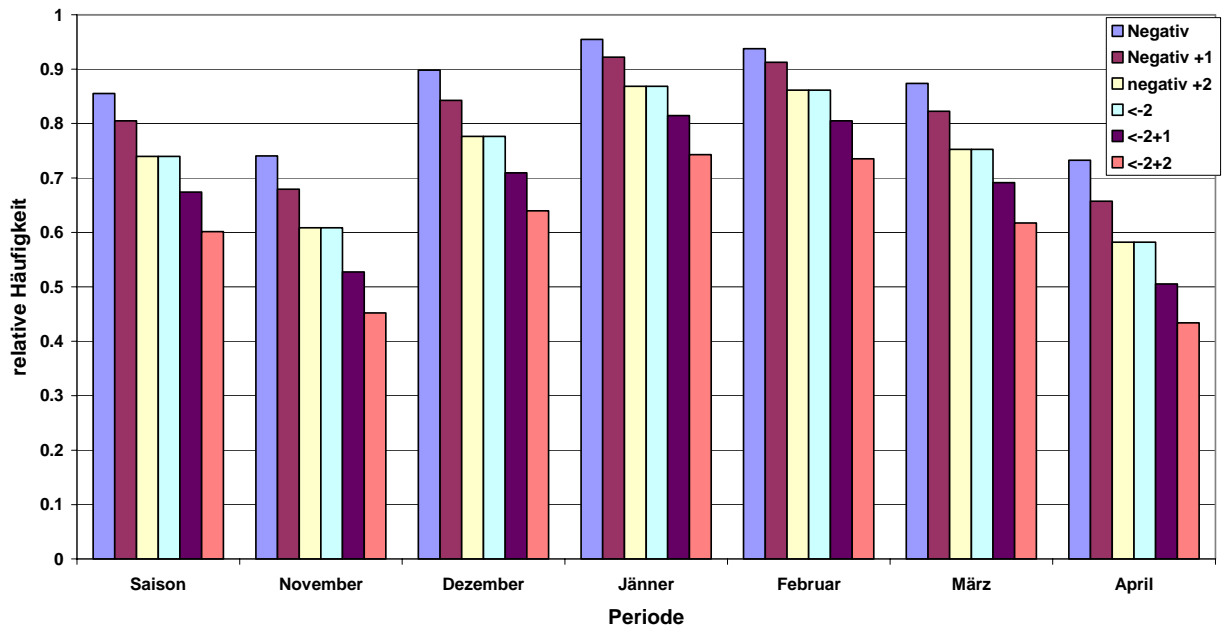


Abb. 4-16: Relative Häufigkeit des Auftretens von Minimumtemperaturen kleiner Null bzw. -2 Grad historisch und bei einer Erwärmung von 1 und 2°C auf der Schmittenhöhe

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte

- Das globale Klima ändert sich – in Salzburg ist die Temperatur in den letzten 50 Jahren in allen Höhen um ca. 1°C gestiegen.

Im globalen, ebenso wie im regionalen und lokalen Maßstab werden Klimaänderungen beobachtet. Vor allem in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten hat sich ein deutlicher Temperaturanstieg abgezeichnet, der im Alpenen Bereich noch stärker ausgefallen ist, als im globalen und im regionalen Maßstab. Er wird in allen Höhen registriert, wobei es Hinweise gibt, dass die Erwärmung in den höheren Regionen jene in niedrigeren geringfügig übertrifft.

- Obwohl die Andauer der Schneedecke von einer Vielzahl von Parametern abhängt, wurde vereinfachend ein Zusammenhang ausschließlich mit der Temperatur den Auszählungen zugrundegelegt.

Diese Vorgangsweise wird häufig gewählt und liefert hinreichend gute Ergebnisse für eine erste Abschätzung. Genauere Untersuchungen würden zusätzliche Analysen erforderlich machen – z.B. bezüglich des Niederschlages und der Bodenerwärmung. Da die Analyse des Niederschlages jedoch wesentlich aufwendiger ist, als jene der Temperatur und die Ergebnisse weniger gut abzusichern sind, wurden für die Untersuchungen zur Andauer der Schneedecke keine Niederschlagsanalysen herangezogen.

- Die Andauer der Schneedecke ist in Salzburg in den letzten 10 Jahren bis in ca. 1000 m bis 1500 um ca. 1 bis 2 Wochen zurückgegangen, darüber zeigt sich noch keine Änderung.

Zukünftige Szenarien

- Es liegen mehrere Studien vor, welche zukünftige Szenarien der Schneedeckendauer auch für Salzburg untersuchen. Trotz unterschiedlicher Ansätze und gewissen Schwankungen in den Ergebnissen, lassen alle Studien einen signifikanten Rückgang der Schneedeckendauer erwarten.
- Der Kompensation des Schneeverlustes durch Schneekanonen sind durch die Erwärmung ebenfalls Grenzen gesetzt. Speziell in den Randmonaten März, April und Dezember muß mit Problemen gerechnet werden.

Auswirkungen

- Der Betrachtung der Auswirkungen der Veränderungen auf den Wintertourismus sind durch die mangelnde Datenverfügbarkeit enge Grenzen gesetzt. Wären z.B. die Daten der Skilift-Betreiber über Betriebsbeginn, -unterbrechungen und Betriebsende parallel zu Daten über Schneelage und Einsatz von Schneekanonen zugänglich, so könnten die Zusammenhänge zwischen Schneedecke und Tourismusbetrieb besser erfasst werden. Die 5 und 20 cm Schneehöhe sind zwar der Literatur entnommen, aber für Salzburg nicht abgesichert.

6 Literaturhinweise

- Auer, I. und R. Böhm (1994): Combined Temperature-Precipitation Variations in Austria During the Instrumental Period. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 49, No. 3, p161-174
- Auer I., Boehm R., Hammer N., Schöner., Wiesinger T., Winiwater W., 1995: Glaziologische Untersuchungen im Sonnblickgebiet: Forschungsprogramm Wurtenkees. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik Heft 12*
- Baumgartner, M. et al. (2000): Lawinen und Klimaänderung. Unveröffentlichtes Manuskript. Institut für Meteorologie und Physik, BOKU
- Bayforklim, (2000): Schlußbericht. Erhältlich unter <http://www.bayforklim.uni-muenchen.de/>
- Beniston, M., M. Rebetez, F. Giorgi, M.R. Marinucci (1994): An Analysis of the regional Climate Change in Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 49, No. 3, p135-160
- Boehm R., Auer I., Schoener 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-I/9/95.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Grubner, M., Pauli, H., 1995: Patterns and current changes in alpine plant diversity. In Chapin III, F.S.& Körner, D. (editors), *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*, Ecological Studies, Vol. 113, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 167-181.
- Hantel M., M. Ehrendorfer, A. Haslinger, 2000: Climate Sensitivity of Snow cover duration in Austria. *Int. J. Climatol.* 20: pp. 615-640
- IPCC DDC (2001) : Erhältlich unter http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/cru_data/; Stand März 2001
- IPCC (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell (Hg.). Cambridge University Press. Cambridge. U.K. 570 S.
- IPCC (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Watson R. T., Zinyowera M. C., Moss R. M., Dokken D. J., (Hg.). Cambridge University Press. Cambridge. U.K. 570 S.
- IPCC (2001) : Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001. Third Assessment Report. WG I.*
- Kleeberg, H. B., (1999) : Informationssystem Schnee (ISSchnee). Erhältlich unter http://www.bauv.unibw-muenchen.de/institute/inst6_2/
- Lexer, M. J., Höninger K, Scheiffinger H., Matulla C., Groll N., Kromp-Kolb H., (2000) : The sensitivity of central european mountain forests to scenarios of climate change: methodological frame for a large-scale risk assessment. *Siva Fennica*,34,113-129
- Lozan, J. L., Graßl H., Hupfer P., (1998): *Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg
- Matulla, C., Groll N., Scheiffinger H., Lexer M., Widmann M., Kromp-Kolb H., (2001): Providing a climate change scenario for sample plots of the Austrian National Forest Inventory: Assessing the suitability of multiple linear regression models. Eingereicht bei climate research
- Müncher Rückversicherung, (2000): *Topics 2000. Naturkatastrophen – Stand der Dinge*.

NFP 31: Bader S. Kunz P, 1998: Klimarisiken - Herausforderung für die Schweiz, Schlußbericht des Nationalen Forschungsprojektes 31, v/dlf Hochschulverlag Ag.

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

Rotach, M.W., M.R.Marinucci, M. Wild, P. Tschuck, A. Ohmura and M.Beniston (1997): Nested Regional Simulation of Climate Change over the Alps for the Scenario of Doubled Greenhouse Forcing. Theoretical and Applied Climatology, Vol. 57, No. 3-4, p209 -228

Türk, R. (1999): mündliche Mitteilung

Widmann, M., C. Schär (1997). A Principal Component and Long-Term Trend Analysis of Daily Precipitation in Switzerland. International Journal of Climatology, Vol. 17, S. 1333-1356.