

## 3. Auch in der Schweiz wirkt sich der Klimawandel zunehmend aus

Andreas Fischlin<sup>1</sup> und Wilfried Häberli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Terrestrial Systems Ecology, Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich

<sup>2</sup> Physikalische Geographie, Geographisches Institut, Universität Zürich

Im Folgenden werden die wichtigsten für die Schweiz relevanten Aussagen aus dem zweiten Teil des Vierten Wissensstandsberichts des IPCC (AR4) zusammengefasst. Dieser wurde durch die Arbeitsgruppe II des IPCC verfasst, die sich mit den Auswirkungen, Anpassungen, und Verwundbarkeiten befasst (IPCC, 2007a, AR4-WGII). Die folgenden Ausführungen enthalten auch zusätzliche Informationen und neueste, im IPCC-Bericht noch nicht enthaltene Literaturhinweise in Bereichen, die für die Schweiz besonders relevant sind (v.a. Hochgebirge, Schnee und Eis). Literaturzitate auf die sich der IPCC-Bericht abstützt sind mit \* gekennzeichnet. Einzelne Kapitel aus dem Bericht mit \*\*.

### 3.1. Die Klimaänderung wirkt sich auf alle Sektoren aus

Es gibt kaum einen Bereich, der nicht von den Auswirkungen des Klimawandels direkt oder indirekt betroffen ist. Zu den indirekten Auswirkungen auf die Schweiz sind insbesondere auch die Auswirkungen auf unsere Nachbarländer, auf Europa allgemein und schliesslich die ganze Welt zu zählen. Falls beispielsweise Überflutungen von Meeresküsten zu einer Welle von asylsuchenden Flüchtlingen führen, so betrifft das selbst ein Binnenland wie die Schweiz.

Unser heutiges Wissen über Auswirkungen des Klimawandels stützt sich auf Messungen, Beobachtungen und Modellrechnungen zu vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Klimaänderungen (s. Kasten 1). Es gilt zu beachten dass bei allen Aussagen über die Zukunft, die mit Modellen abgeschätzt werden, immer Annahmen, d.h. Szenarien, über zukünftiges menschliches Verhalten den Modellrechnungen zugrundegelegt werden müssen. Dabei werden die notgedrungenenmassen spekulativen Aussagen über eine wahrscheinlich zu erwartende Zukunft möglichst vermieden. Stattdessen werden die Folgen beschrieben, die sich aus einer gemäss Szenario angenommenen Klimaänderung beim heutigen Wissensstand und Verständnis der ablaufenden Prozesse ergeben würden. Der Verlauf eines zukünftigen, menschengemachten Klimawandels entzieht sich also weitgehend einer naturwissenschaftlichen Prognose. Glücklicherweise bedeutet dies auch, dass unser Klimaschicksal noch über weite Strecken offen ist.

Wie Haldane meinte:

"Wir können die Zukunft nicht vorhersagen, aber wir können sie erfinden!".

#### Kasten 1: Methodische Ansätze zur Erfassung von Auswirkungen des Klimawandels

Für die Wissenschaft gibt es drei methodische Ansätze, um Zusammenhänge zwischen Klimaänderung und deren Auswirkungen und dadurch ausgelösten Anpassungsprozessen zu erfassen:

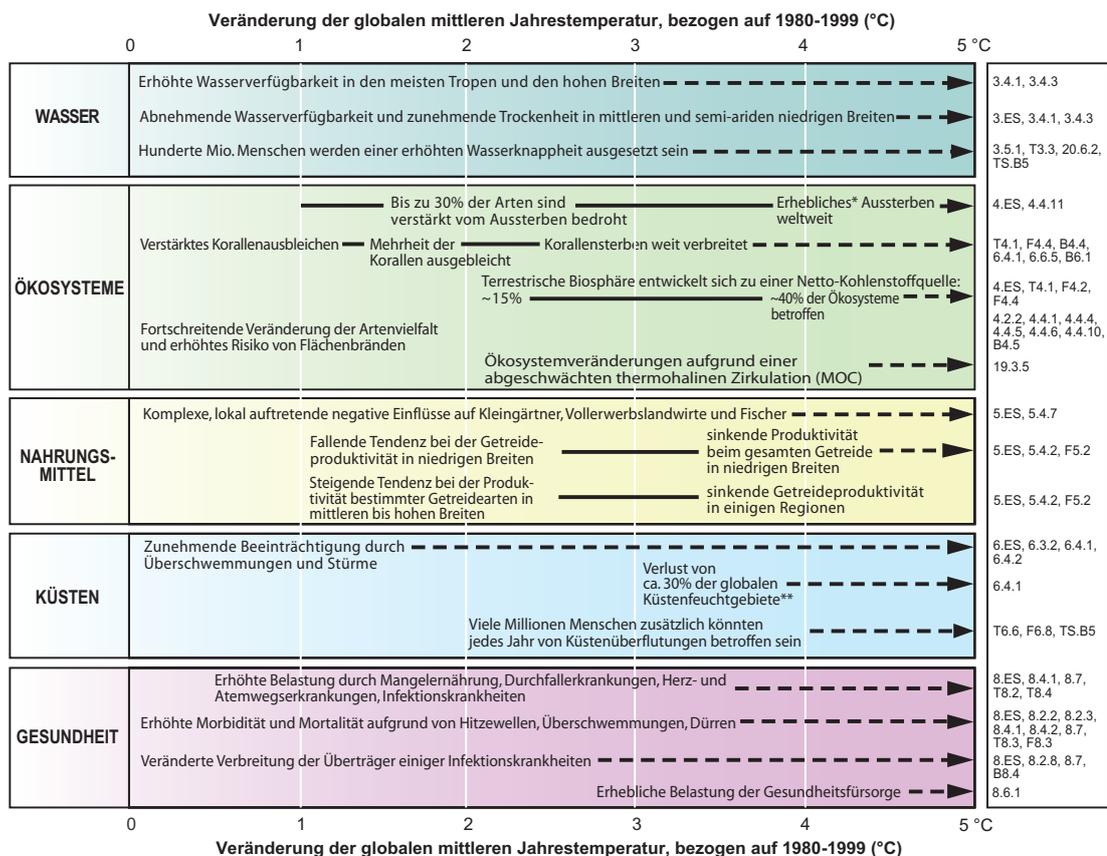
- Einerseits lassen sich durch Messungen und Beobachtungen die Auswirkungen momentan ablaufender Klimaänderungen feststellen.
- Zweitens verfügen wir heute über eine Reihe ausgeklügelter Methoden wie z.B. Baumring-, Pollen- und Isotopenanalysen, welche es uns ermöglichen, Rückschlüsse auf vergangene Klimaänderungen und den damals dadurch ausgelösten Veränderungen zu ziehen.
- Drittens lässt sich das Wissen über die Zusammenhänge zwischen Klima und Auswirkungen auf Natur und Mensch aus Vergangenheit und Gegenwart in Modelle gießen. Mit Hilfe von Szenarien, Klimamodellen und Auswirkungsmodellen lassen sich dann Auswirkungen zukünftiger Klimaänderungen durch Hochrechnungen abschätzen.

### 3.1.1. Schon beobachtete Auswirkungen

**Eine globale Bewertung der Daten seit 1970 hat gezeigt, dass es wahrscheinlich ist, dass die vom Menschen verursachte Erwärmung bereits einen erkennbaren Einfluss auf viele physikalische und biologische Systeme hatte. (IPCC, 2007b)**

Obwohl viele Auswirkungen von Klimaänderungen erst verzögert auftreten, belegen eine Fülle von Untersuchungen, welche Auswirkungen der in den letzten Jahrzehnten stattgefundenen, noch relativ geringfügigen Klimawandel schon ausgelöst hat: 29'436 Datenreihen aus 577 Studien wurden dahingehend ausgewertet, ob die beobachteten Veränderungen seit 1970 mit den zu erwartenden Effekten der klimatischen Entwicklungen – insbesondere der Temperatur übereinstimmen oder nicht. 94% aller abiotischen Phänomene – worunter insbesondere auch Gletscher zu zählen sind – und 90% aller biologischen Datenreihen – beispielsweise der Zeitpunkt des Blühens oder Erreichens

pflanzlicher Reifestadien – zeigen eine Übereinstimmung zwischen den gemessenen höheren Erdoberflächentemperaturen und den festgestellten Änderungen in den betroffenen physikalischen und biologischen Systemen (Rosenzweig et al., 2007\*\*). Ein Teil dieser Untersuchungen stammt auch aus der Schweiz (siehe «Schnee und Eis im Hochgebirge»), jedoch weist der AR4-WGII die schweizerischen Datenreihen nicht einzeln aus. Aus umfangreichen regionalen Untersuchungen wissen wir jedoch beispielsweise, dass sich die Schwund- und Zerfallstendenz auch für die Gletscher in der Schweiz und alpenweit deutlich beschleunigt hat (Paul et al., 2004\*): Seit dem historischen Maximalstand um 1850



\* Erheblich wird hier definiert als mehr als 40%.

\*\* Auf Basis der durchschnittlichen Rate des Meeresspiegelanstiegs von 4,2 mm/Jahr von 2000-2080.

Figur 1–1: Zusammenhänge zwischen mittlerer Erderwärmung gegenüber heute als Indikator einer Klimaänderung und wichtigste zugehörige Folgewirkungen in verschiedenen Sektoren. Man beachte, dass hierbei keines der in der unteren Darstellung angegebenen IPCC SRES Emissionsszenarien bevorzugt worden ist, sondern dass lediglich die Zusammenhänge zwischen mittlerer globaler Temperaturänderung und den Auswirkungen ohne Anpassung angegeben sind (aus IPCC, 2007c, Figure 3.6, S.51).

und bis 1980 haben die Alpengletscher jährlich etwa 0.5% ihres Volumens verloren. Die Verluste stiegen zwischen 1980 und 2000 auf rund 1% pro Jahr und sind inzwischen auf 2 – 3% pro Jahr angewachsen. Im Extremsommer 2003 allein sind geschätzte 8% (5 – 10%) des verbleibenden Gletschereises in den Alpen verloren gegangen (Haeberli et al., 2007). Dabei sind die Firngebiete mancher kleiner und mittlerer Gletscher verschwunden und die verbleibenden Eisoberflächen durch Staubeintrag zusätzlich dunkel gefärbt worden. Wegen der damit verbundenen Reduktion des Rückstrahlungsvermögens sind die Schmelzprozesse nun gegenüber der Zeit vor 2003 verstärkt. Als im Extremsommer 2003 aus Felsklüften in vollständig ausgeaperten Felsflanken Wasser floss und sich immer wieder Felsstürze bei trockenstem Wetter ereigneten, wurde das Phänomen Permafrost und die damit verbundenen Stabilitätsprobleme im Hochgebirge für breite Kreise erkennbar (Noetzi

et al., 2003\*; Gruber et al., 2004\*). Nach den europaweit beobachteten Bohrlochtemperaturen im Hochgebirgspermafrost sind die Bergflanken durch den atmosphärischen Temperaturanstieg des 20. Jahrhunderts bereits bis in eine Tiefe von rund 60 bis 70 Metern deutlich erwärmt (Harris et al., 2003). Für die schweizerische landwirtschaftliche Praxis bedeutungsvoll ist die Beobachtung, dass sich allein zwischen 1951-1998 die Vegetationsperiode signifikant um 2.7 Tage pro Jahrzehnt, also insgesamt um fast zwei Wochen, verlängert hat und dass bei vielen Pflanzen der Spross- und Blühzeitpunkt sich durchschnittlich um 11.5 Tage vorverschoben hat (Defila & Clot, 2005\*; Studer et al., 2005\*). All diese Veränderungen, die in den letzten Jahren einen beschleunigenden Trend aufweisen, entsprechend übrigens in etwa dem europäischen Durchschnittstrend (Menzel et al., 2006\*; Rosenzweig et al., 2007\*\*, S.99, Table 1.7, S.100, Table 1.8).

### 3.1.2. Zukünftige Auswirkungen

**Genauere Informationen bezüglich der Art zukünftiger Auswirkungen sind nun für eine breite Palette von Systemen und Sektoren – einschliesslich einiger Bereiche, die in früheren Bewertungen nicht erfasst waren – verfügbar. Die Auswirkungen werden sich sehr wahrscheinlich durch geänderte Häufigkeiten und Intensitäten von extremen Wetter-, Klima und Meeresspiegelereignissen, verändern. Einige grossskalige Klimaereignisse haben das Potenzial sehr umfangreiche Auswirkungen zu verursachen, insbesondere nach dem 21. Jahrhundert. Die Auswirkungen der Klimaänderung werden regional unterschiedlich sein. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass sie – aggregiert und auf die Gegenwart diskontiert – jährliche Nettokosten verursachen, die sich mit zunehmendem globalem Temperaturanstieg im Verlauf der Zeit immer weiter erhöhen werden. (IPCC, 2007b)**

IPCC hat eine Reihe von möglichen zukünftigen Entwicklungen der menschlichen Gesellschaft in Form von detailliert festgelegten Szenarien entworfen (Nakicenovic et al., 2000\*). Diese IPCC SRES Szenarien beschreiben u.a. denkbare, zukünftige Treibhausgasemissionen und unterscheiden sich deutlich bezüglich ihrer Klimawirkungen. Im AR4-WGII konnten erstmals eine grosse Zahl von Studien berücksichtigt werden, welche die Auswirkungen dieser Palette an Klimaänderungen, ungeachtet ob sie nun aus menschlicher Sicht eher als negativ oder positiv zu beurteilen sind, eingehend untersucht haben. Da sich kein bestimmtes Szenario gegenüber den anderen als wahrscheinlicher bevorzugen lässt, macht der Bericht wenig Aussagen über bestimmte, zu erwartende Auswirkungen. Stattdessen kommt er zu folgender Kernaussage: Je ausgeprägter

die Klimaänderung, charakterisiert durch die globale mittlere Erwärmung, desto deutlicher überwiegen die negativen Auswirkungen die positiven (Figur 1–1). Das gilt auch für die Schweiz. Allerdings ist interessant festzuhalten, dass bis etwa Mitte Jahrhundert nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Emissionsszenarien und demnach auch der Folgewirkungen auftreten. Jedoch gegen Ende Jahrhundert werden bedeutungsvolle Unterschiede deutlich und beispielweise für ein IPCC SRES A2 Szenario ergibt sich gemäss Modellrechnungen (IPCC, 2007d, S.52, Figure TS.13) eine Schweiz, in der jeder zweite Sommer so heiss oder noch heisser als der Sommer 2003 ausfallen dürfte (Figur 1–2 Beniston, 2004\*; Schär et al., 2004\*; Alcamo et al., 2007\*\*, S.562). Ein solches Klima würde die Schweiz in Vielem wie Schnee, Eis und

Permafrost, Wasserkreislauf, Land-, Forst-, und Energiewirtschaft, Tourismus und indirekt in allen anderen Industriezweigen und damit

praktisch allen Lebensbereichen empfindlich treffen.

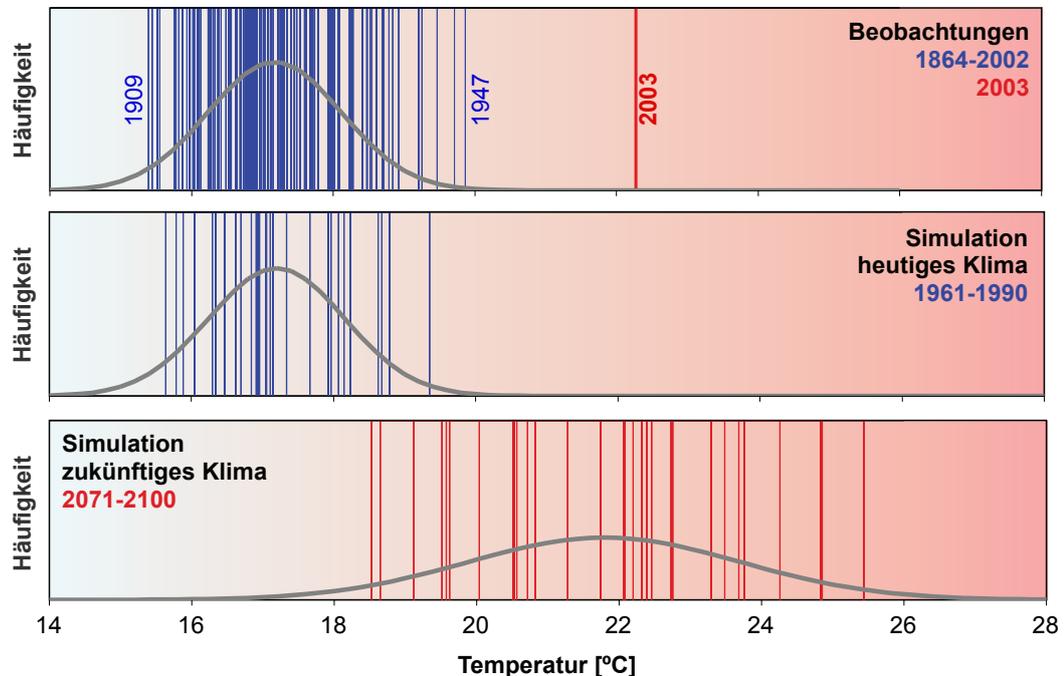


Figure 1–2: Oben: Beobachtete mittlere Sommertemperaturen (JJA) schweizerischen Mittelland. Mitte/unten Klimamodellrechnungen, d.h. Nachrechnung für vergangenes Klima (Mitte) sowie Projektionen für zukünftiges Klima gemäss IPCC SRES A2 Szenario (unten). Die Temperaturen vom Sommer 2003 erscheinen gegenüber bisherigem Klima extrem (oben), werden gemäss den Szenarioannahmen jedoch zum Normalfall (unten Schär et al., 2004\*; IPCC, 2007d, S.52, Figure TS.13).

### 3.2. Schnee, Eis und Permafrost im Hochgebirge

**Die Ausdehnung von Schnee und Eis in polaren Regionen und Hochgebirgen nimmt ab. Für die Schweiz zunehmend relevante Konsequenzen haben die früher einsetzende Schneeschmelze, der Gletscherschwund, die Erwärmung des Permafrostes in Steilflanken und der reduzierte Schmelzwasserabfluss im Sommer.**

Schnee und Eis in polaren Regionen und Hochgebirgen gehen generell zurück (Lemke et al., 2007\*\*; vgl. dazu auch den umfangreichen kürzlich erschienenen Bericht der UNEP, 2007). Die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind bereits erkennbar. Für die Schweiz besonders relevante Konsequenzen haben die früher einsetzende Schneeschmelze, der Gletscherschwund, die Erwärmung des Permafrostes in Steilflanken und der reduzierte Schmelzwasserabfluss im Sommer. Der Schnee beeinflusst dabei den Energieaustausch zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche, wird jedoch durch kurzfristige Wetterabläufe gesteuert und bleibt deshalb die am schwierigsten zu fassende Komponente. Die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Schneedecke stellt eine entscheidende Unsicherheit für die

Abschätzung der Entwicklung der Gletscher und des Permafrostes dar. Der kombinierte Einsatz von Satellitenbildern, digitaler Geländeinformation, numerischen Modellen räumlicher Entwicklungen und gezieltem Monitoring erlauben dennoch immer robustere Interpretationen und Abschätzungen für die Zukunft.

Modellrechnungen für Szenarien mit zukünftigem Temperaturanstieg und Veränderungen des Jahresniederschlags lassen keinen Zweifel, dass ein grosser Teil der alpinen Gletscherfläche (ca. 75%) bereits bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts verschwinden könnte (Zemp et al., 2006). Selbst in optimistischen Szenarien ist wohl kaum mehr als die Hälfte des jetzt noch existierenden Gletschervolumens zu retten (s. Figur 2-1).

Permafrostmodelle für die komplexe Topographie von Berggipfeln zeigen die Besonderheit der Prozesse im Gebirge: Die obersten Teile der Berge sind vom geothermischen Wärmestrom weit gehend abgekoppelt und die Erwärmung kann von mehreren Seiten eindringen. Da die Wärmeausbreitung im Innern der Berge aber lange Zeit braucht, werden Berggipfel im Permafrost noch viele Jahrzehnte und Jahrhunderte teilweise gefroren bleiben, allerdings bei Temperaturen, die sich sukzessive dem Schmelzpunkt nähern (Noetzli et al., 2007; Salzmann et al., 2007). Für gefrorene Schutthalden und Moränen geringerer Neigung spielt die Schneedecke mit ihrer

Isolationswirkung gegen die Winterkälte eine entscheidende Rolle: die Entwicklung ist in solchen Lagen weit weniger eindeutig, da die letzten Winter eher schneearm und für den Untergrund – trotz hoher Lufttemperaturen – relativ kalt waren.

Über die Konsequenzen solcher Entwicklungen gibt es wenig Zweifel (Haeberli & Hohmann, 2008). Mit dem Zerfall der Gletscher verändert sich das Landschaftsbild des Hochgebirges und mit den „leuchtenden“ Firnen verschwindet mehr und mehr ein auch emotional stark belegtes Symbol für eine intakte Umwelt. Zusammen mit der verfrühten Schneeschmelze wird die auf die Dauer ver-

## Flächenveränderung der Alpengletscher

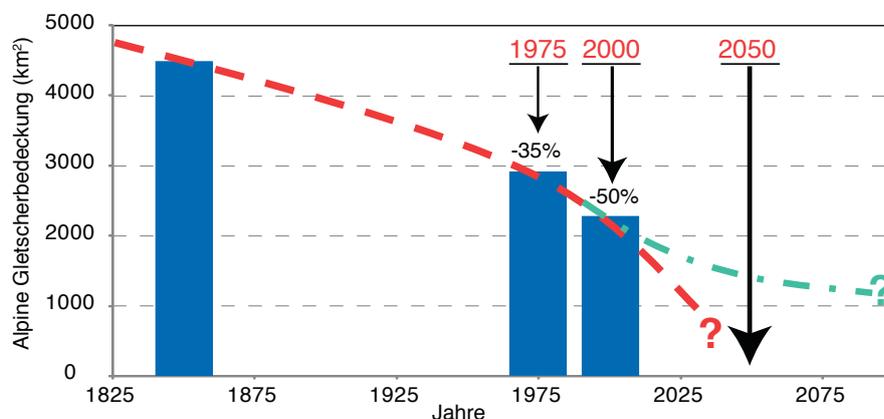


Figure 2–1: Tschervagletscher mit Moränen des 19. Jahrhunderts („Kleine Eiszeit“) und die Zukunft der Alpengletscher: Die Entwicklung der geschätzten Gesamtflächen der Alpengletscher deutet darauf hin, dass der Schmelzprozess bereits stark beschleunigend in Gang ist und innerhalb der ersten Jahrzehnte des 21. Jahrhunderts in entscheidendem Mass und für lange Zeit irreversibel ablaufen könnte. Daten und Extrapolationen nach Zemp et al. (2006) und Haeberli et al.(2007).

siegende Gletscherschmelze die Wassermenge der Alpenflüsse in trockenen Sommern massiv verringern (Zappa & Kan, 2007; Huss et al., 2008). Mit dem Schwund grosser Talgletscher und mit der tiefgreifenden Erwärmung gefrorener Bergflanken steigt zudem die Wahrscheinlichkeit grosser Felsstürze langsam aber sicher an. Schon heute ereignen sich aus Permafrostflanken im Alpenraum alle paar Jahre Felsstürze mit Volumen von über einer Million Kubikmeter und Sturzbahnen weit unter die Waldgrenze, oft auch über erschlossenes Gebiet. Besonders gefährlich könnten solche Ereignisse im Zusammenhang mit künstlichen und natürlichen Seen werden. Neue Seen entstehen schon jetzt oder in naher Zukunft an verschiedenen Gletschern (z.B. Trift,

Grindelwald, Rhone, Aletsch, Plaine Morte, Gorner etc.). Dank jahrelangen systematischen Forschungsanstrengungen des Bundes seit der Mattmarkkatastrophe von 1965 sind in der Schweiz modernste und zukunftsorientierte Konzepte und Technologien für die Behandlung der entsprechenden Naturgefahren entwickelt worden (Hugge et al., 2004\*; Kääb et al., 2005\*). Im Bereich Permafrost wurde ein Computermodell (1:50'000) für die Permafrostverbreitung in den Schweizer Alpen erstellt und ein Langfristmessnetz (PERMOS) eingerichtet. Das Gletschermessnetz wird zur Zeit ausgebaut, um die modernen Schlüsseltechnologien der Satellitenbeobachtung und der Geoinformatik zu integrieren.

### 3.3. Landschaft, Land-und Forstwirtschaft

**Die Erwärmung wird "Wanderungen" vieler Pflanzen und Tiere in bergige Höhen auslösen. Damit dürften sich auch tiefgreifende Veränderungen in der Zusammensetzung der Vegetation und in der Tierwelt ergeben. Vertraute Gebirgslandschaften werden verschwinden und neue, für die Schweiz fremdartige, werden entstehen.**

Temperatur und Niederschläge haben die Landschaften der Schweiz schon immer geformt. Sie werden trotz stark gewordener menschlicher Eingriffe in das Landschaftsbild auch in der Zukunft dieses in entscheidender Weise mitprägen. Die Erwärmung wird einerseits "Wanderungen" vieler Pflanzen und Tiere in bergige Höhen auslösen (z.B. Pauli et al., 2007). Doch reagieren viele Organismen verschieden auf dieselbige Klimaänderungen und damit dürften sich andererseits auch tiefgreifende Veränderungen in der Zusammensetzung der Vegetation und damit verknüpft in der Tierwelt ergeben (z.B. Fischlin et al., 2007\*\*). Vertraute Gebirgslandschaften werden verschwinden, da auf den höchsten Berggipfeln die Lebensräume eng werden und teilweise ganz verschwinden werden. Neue Landschaften werden entstehen (z.B. Bugmann et al., 2005\*), welche für die Schweiz fremdartig sind. Modellrechnungen zeigen (Fischlin & Gyalistras, 1997\*), dass beispielsweise die subalpinen Lärchenarvenwälder in den Alpen ihren Lebensraum verlieren, wenn der Klimawandel nicht entscheidend abgebremst wird. Auch die Artenvielfalt, die im Verlaufe des letzten Jahrhunderts in den Bergregionen ein besonderes Refugium gefunden hat, dürfte stark betroffen sein: Quantitative erste Abschätzungen für den europäischen Alpenraum beziffern ein erhöhtes Aussterberisiko für Pflanzen von bis zu 60%

bei ungebremstem Klimawandel (Thuiller et al., 2005\*; Alcamo et al., 2007\*\*, S. 543). Ein tiefgreifender Wandel der Vegetation verändert jedoch nicht bloss das Landschaftsbild, sondern beeinflusst auch die hydrologischen Verhältnisse (Zierl & Bugmann, 2005\*) mit allen Konsequenzen für Hangstabilität, Wasserverfügbarkeit und Abfluss.

Die schweizerische Landwirtschaft wird vorerst von erhöhter Produktivität profitieren (Easterling et al., 2007\*\*), obwohl in Nachbarländern des Mittelmeers wie z.B. Frankreich und Italien die Produktivität schon jetzt im Sinken begriffen ist. Langandauernde Trockenheit führt allgemein zu reduzierter Produktivität (Fischlin et al., 2007\*\*) und damit zu Ertragseinbussen. Im Hitzesommer 2003 ergaben sich beträchtliche Ertragsverluste (Italien: Mais 36%; Frankreich: Ackerbau 30%, Obstbau 25%) und die Weinerträge waren auf einem Jahrzehntetief. Insgesamt beliefen sich die Verluste auf 13 Milliarden Euro (Easterling et al., 2007\*\*, S.277, Box 5.1). Künstliche Bewässerung wird vorerst helfen, diesen Trends entgegenzuwirken. Bei ungebremstem Klimawandel wird jedoch auch in der Schweiz die landwirtschaftliche Produktion langfristig beeinträchtigt sein, insbesondere wenn infolge früherer Schneeschmelze und geschwundener Gletscher (Figur 2-1) während der Vegetationsperiode die Wasserverfügbarkeit verknappt (z.B. Fuhrer et

al., 2006\*). Auch die erhöhte Variabilität (Figur 1–2) wird die schweizerischen Landwirte vor besondere Herausforderungen stellen und die Ertragsicherheit gefährden.

Ähnliches dürfte für die Forstwirtschaft gelten: Zunächst dürfte sich die zu erwartenden Klimaänderungen besonders im Gebirge produktivitätssteigernd auswirken. Bei rapidem Klimawandel wird sich jedoch auch hier das Blatt wenden. Zudem dürften nicht nur die tiefgreifenden Änderungen in der Zusammensetzung unserer Wälder, sondern

die in vielen südlichen Ländern sich abzeichnende, zunehmende Feuerhäufigkeit (Alcamo et al., 2007\*\*) auch für die Schweiz bedeutungsvoll werden (Schumacher & Bugmann, 2006\*). Auch bestimmte wärme- und trockenheitsliebende Insekten, wie z.B. Borkenkäfer, dürften unseren Wäldern zusätzlich zunehmend zu schaffen machen. Inwiefern Schutzwälder unter diesen Umständen ihre Schutzfunktion – insbesondere im Gebirge – noch wahrnehmen können, ist kaum untersucht und muss deshalb als ungewiss eingestuft werden.

### 3.4. Tourismus und Infrastrukturen

**Die Abnahme der Schneebedeckung wird negative Auswirkungen für den Wintertourismus, speziell für die tiefer liegenden Stationen haben. Eine Diversifizierung des Angebotes wird zunehmend wichtig. Infrastrukturanlagen im Berggebiet werden zunehmend durch Extremereignisse (Murgänge, Überschwemmungen) gefährdet.**

Die durchschnittliche Schneebedeckung hat in der Schweiz in der Periode von 1975-1999 oberhalb 440 m um 50%, oberhalb 2200 m um 15% abgenommen (Latenser & Schneebeli, 2003\*; Rosenzweig et al., 2007\*\*, S.56). Insbesondere zu Beginn und am Ende der Wintersportsaison sind gewichtige Störungen der Schneesicherheit

zu erwarten (Elsasser & Messerli, 2001\*; Elsasser & Bürki, 2002\*; Rosenzweig et al., 2007\*\*, S.111). Ohne Niederschlagsänderungen reduzierte sich z.B. bei einer Erhöhung der minimalen Wintertemperatur um 2°C die Schneebedeckungsdauer auf dem Säntis (2500 m) um 50 Tage, falls eine 50%



Figur 3: Auch die zunehmende Ausaperung im Sommer stellt die Tourismusbranche vor Probleme technischer und betrieblicher Art. Sommerskiinstallationen werden nur noch mit zunehmendem Aufwand und während einer kürzeren Zeitperiode betrieben werden können. Zudem nimmt mit dem Gletscherschwund auch die Attraktivität der Hochgebirgslandschaft ab. (Photo: Monte Rosa Süd, C. Kull, 2003)

Niederschlagserhöhung mitangenommen wird, eine Verkürzung um 30 Tage (Beniston et al., 2003\*, S.29; Alcamo et al., 2007\*\*, S. 557). Im Nachbarland Österreich ergibt sich in empfindlichen Höhenlagen (600 m im Winter, 1400 m im Frühling) eine Verkürzung der Skisportsaison um 4 Wochen während der Hochsaison und um sechs Wochen im Frühjahr pro 1°C Erwärmung (Hantel et al., 2000\*). Dies bedeutet eine Abnahme der Schneesicherheit (pro 1° Erwärmung steigt die Schneefallgrenze um etwa 100 bis 150m). Im europäischen Vergleich zeigt sich, dass die Schweiz mit den höher gelegenen Skigebieten einen Konkurrenzvorteil hat. Trotz relativer Schneesicherheit in den Skigebieten wird aber die fehlende Winteratmosphäre im Unterland und auch in den Ferienorten wohl die grössten Auswirkungen auf den Wintersport haben (Abegg et al., 2007).

Doch auch Extremereignisse dürften für die ansässige Bevölkerung wie auch den Tourismus von Bedeutung sein: Infolge der zunehmender Sommertemperaturen, taut der Permafrost tiefer auf, was zu häufigerem Steinschlag und vermehrter Felssturzaktivität im Hochgebirge führte (Noetzi et al., 2003\*; Gruber et al., 2004\*; Rosenzweig et al., 2007\*\*, S.86, Table 1.2). Auch Versicherungsfragen dürften in dieser Beziehung bedeutungsvoll sein. Die Kosten eines 1000-Jahr Ereignisses sind typischerweise weit höher (z.B. das 2.5-fache) als diejenigen eines 100-Jahr Ereignisses und bei Sturmböen zeigt sich, dass Versicherungsschäden mit der dritten Potenz der maximalen Windgeschwindigkeit zunehmen (Klawns & Ulbrich, 2003\*; Alcamo et

al., 2007\*\*, S.557).

Den veränderten klimatischen Bedingungen wird der Wintersport der Schweiz, aber auch von Österreich, Frankreich und Italien vorerst durch Verlagerung in höhere Zonen, vermehrten Einsatz von Schneekanonen, aufwendige Skipistenpflege, Abdeckung von Eisflächen mit das Sonnenlicht reflektierenden Planen solange als möglich anzupassen versuchen (Adger et al., 2007\*\*, p. 722). Bei ungebremstem Klimawandel werden jedoch all diese Massnahmen nur vorübergehend Linderung verschaffen. Zudem ist speziell im Sommer der durch den Gletscherrückzug entstehende Attraktivitätsverlust der alpinen Landschaft zu berücksichtigen (vergl. Figur 3). Eine Diversifizierung der Tourismusbranche auf neue Bereiche wird insbesondere in den tiefer gelegenen Höhenlagen unvermeidlich werden (Swiss Confederation, 2005\*; Adger et al., 2007\*\*, p. 722). Diese Diversifizierung wird bereits mittelfristig notwendig werden, wie Studien für den Schweizer Tourismus im Jahr 2030 zeigen (Müller & Weber, 2007; HR. & F., 2008). Um die Sicherheit der Menschen in den Bergen zu gewährleisten, werden auch erhebliche Investitionen zum Schutz vor Extremereignissen unausweichlich werden, z.B. um die negative Folgen von vermehrten Starkniederschlägen sowie auftauendem Permafrost, schwindenden Gletschern und dadurch beweglich werdendem Schuttmaterial, mit Schutzbauten gegen Lawinen, Murgänge (z.B. wie in Pontresina), Wildbäche und Hochwasser abzuwenden (Bürki et al., 2005\*).

### 3.5. Ausgewählte Wirtschaftszweige

**Die Erwärmung und das veränderte Niederschlagsregime werden Auswirkungen auf die Energieproduktion und die Infrastrukturen in der Schweiz haben und Anpassungen in vielen Bereichen nötig machen.**

Niedriger Wasserstand in den Flüssen und erhöhte Wassertemperaturen bedeuten für Laufkraftwerke oder auf Kühlwasser angewiesene, thermische Kraftwerke reduzierte Stromproduktion (Arnell et al., 2005\*). Im Sommer 2003 mussten beispielsweise europaweit sechs Kraftwerke gänzlich abgeschaltet werden und die Stromproduktion in unserem Nachbarstaat Frankreich war um 30% reduziert (Létard et al., 2004\*; Wilbanks et al., 2007\*\*, S.362). Auch das flussgekühlte Kernkraftwerk Beznau erlitt Produktionseinbussen.

Positiv wirkt sich hingegen der sinken-

de Energiebedarf für Gebäudeheizungen im Winter aus: Bis 40% dürfte sich in der Schweiz der Energiebedarf bis 2100 reduzieren (Frank, 2005\*; Christenson et al., 2006\*; Alcamo et al., 2007\*\*, S.556). Der ebenfalls steigende Kühlungsbedarf im Sommer wiegt diesen positiven Effekt nicht auf (OcCC, 2007).

Das zunehmende Potential für Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden durch die Zunahme von Extremereignissen wird in der Versicherungsbranche und der Bauwirtschaft Anpassungen nötig machen (OcCC, 2007).

### 3.6. Menschliche Gesundheit

**Die Hauptauswirkungen der Klimaänderung auf die menschliche Gesundheit werden durch die Zunahme von Hitzewellen und Extremereignissen, sowie durch die Zunahme und veränderte Verbreitung von krankheitsübertragenden Vektoren (Mücken, Zecken) verursacht.**

Klimaänderungen können sich auch auf die menschliche Gesundheit auswirken. Weit herum bekannt sind die Auswirkungen der Hitzewelle 2003, die in Europa anfangs August zu mindestens 35'000 zusätzlichen Todesfällen geführt hat (Alcamo et al., 2007\*\*, S.557). Auch in der Schweiz erhöhte sich die Mortalität um 7% infolge des Hitzesommers 2003 (Grize et al., 2005\*; Confalonieri et al., 2007\*\*, S.397, Table 8.1, S.847). Auch Extremereignisse wie Überschwemmungen, Feuer, Hitzewellen und – weit ungewisser mit Klimaänderungen zusammenhängend – Orkane, können zu Beeinträchtigungen der Gesundheit von betroffenen Menschen führen (IPCC, 2007b, S.12). Natürlich lassen sich durch Anpassungsleistungen infrastruktureller Art wie auch verhaltensseitig in Zukunft derartige Krisen mit gehäuftem Auftreten nach und nach besser meistern und es ist zu hoffen, dass so die Zahl an "unnötigen" Todesfällen in Zukunft vermehrt reduziert werden kann. Ein wärmeres Klima führt glücklicherweise auch zu einer Reduzierung von Todesfällen durch Kälte. Mit Ausnahme von Ländern die mit dem Umgang mit Kälte wenig gewohnt sind

oder die aus sozio-ökonomischen Gründen ihre Bevölkerung ungenügend vor Kälte schützen können, ergibt sich dadurch jedoch keine positive Bilanz (Confalonieri et al., 2007\*\*).

Ein wärmeres Klima kann aber auch indirekt Folgen für die menschliche Gesundheit haben. Insbesondere die Ausbreitung von Krankheiten und krankheitsübertragenden Vektoren wie Mücken oder Zecken sind ebenfalls von Klimaänderungen geprägt. Eine gezielte Gesundheitsvorsorge, sollte aber insbesondere in der Schweiz grössere negative Folgen vermeiden helfen können. Darob darf aber nicht vergessen gehen, dass ausserhalb der reichen Industrieländer die gesundheitlichen Folgen durch den Klimawandel im AR4-WGII insgesamt als äusserst negativ und mit zunehmender Erwärmung höchst besorgniserregend eingestuft werden (Confalonieri et al., 2007\*\*, z.B. S.393). Dies wird nicht ohne indirekte Auswirkungen auf die Schweiz bleiben und ist aus humanitärer und ethischer Sicht zudem gemäss Verursacherprinzip als besondere Verantwortung für die reicheren Industrieländer wie die Schweiz anzusehen.



Figur 4: Extremereignisse verursachen nicht nur hohe Sachschäden, sie stellen auch eine Gefährdung für die menschliche Gesundheit dar, insbesondere wenn die Auswirkungen überraschend eintreffen. (Photo: Matte, Bern, C. Kull, 2005)

### 3.7. Schlussfolgerungen

Obwohl der AR4-WGII nur beschränkt spezifische Aussagen über die Schweiz machen kann, ergibt sich dennoch ein deutliches Bild: Die Schweiz bleibt keineswegs von den Auswirkungen eines Klimawandels verschont und was global gilt, trifft gemäss heutigem Wissensstand auch auf die Schweiz zu: Je wärmer, desto stärker dominieren die negativen Konsequenzen. In gewissen Belangen scheint die Schweiz nicht empfindlicher als die Nachbarstaaten und das übrige Europa zu sein. Teilweise (z.B. Sommertourismus, ausreichende Winterniederschläge), können wir von der Höhenlage sogar profitieren. Trotzdem sieht sich die Schweiz als Alpenland besonderen Herausforderungen gegenüber. Wichtig ist neben den offensichtlichen Auswirkungen auf Wintersport und sonstigem Tourismus, auf Wasser-, Land-, Forst- und Energiewirtschaft auch die durch Klimaänderungen ausgelösten langwierigen Anpassungsprozesse nicht zu vergessen. Letztere bringen eine langwierige Phase der Instabilität mit sich, die besonders in Bergregionen zu vermehrten Naturkatastrophen führen wird. Dies wird auch grosse, teure und langfristig auszurichtende Investitionen in Anpassungen erfordern, seien dies wasserbauliche Massnahmen, wasserregulierender Ersatz für die Gletscher, Kraftwerksbau, hangstabilisierende Massnahmen, nicht zuletzt auch durch den land- und forstwirtschaftlichen Sektor, und all die vielen anderen Anpassungen in unserer Infrastruktur (Gebäudepark, Transportwesen, Energieversorgung, Katastrophenmanagement). Zudem darf keinesfalls vergessen gehen, die Schweiz ist nicht alleine betroffen: Als kleines Land ohne grössere natürliche Ressourcen ist die Schweiz auch indirekt vom Klimawandel als globales Phänomen, d.h. über die Auswirkungen auf unsere Nachbarländer und schlussendlich die ganze Welt, besonders betroffen.

Unser Land ist demnach auf einen wirksamen Klimaschutz angewiesen, obwohl es diesen natürlich alleine nicht bewerkstelligen kann und hierbei auf die Mitarbeit der ganzen Welt angewiesen ist. In diesem Zusammenhang ist wichtig zu sehen, dass Auswirkungen von Klimaänderungen nicht ohne Rückwirkungen auf das Klima verstanden werden dürfen. Der AR4 macht klar, dass ab einem gewissen Mass der Erwärmung besondere Risiken für Folgewirkungen bestehen, insbesondere dann, wenn sie beschleunigende Rückwirkungen

auf den Klimawandel ausüben. Solche positiven Rückkopplungen, wie z.B. nachlassende Senkenfunktion der Wälder oder Ozeane, können den Klimawandel beschleunigen. Auch hier zeigt sich, dass das Risiko für das Auftreten sich selbst verstärkender Mechanismen mit steigenden Temperaturen zunehmend ansteigt. Versuche derartige Risiken quantitativ abzuschätzen ergaben, dass sich schon ab einer globalen mittleren Erwärmung von 2.5°C ein erhebliches Risiko abzeichnet, dass die Landökosysteme zu einer Nettoquelle von CO<sub>2</sub> werden (Fischlin et al., 2007\*\*, S.213, S.240, Figure 4.4, S.242, Table 4.1; IPCC, 2007b, S.11). Ein gewisser Klimawandel ist bereits unumgänglich geworden (vergl. Kapitel 2.2.1), was die Schweiz ebenfalls besonders trifft, zeigte sich doch bislang, dass die mittlere Erwärmung in der Schweiz etwa doppelt so hoch ausfällt wie das globale Mittel. Es liegt deshalb im ureigensten Interesse der Schweiz, sich nicht nur an den Klimawandel anzupassen, sondern als Doppelstrategie auch einen wirksamen Klimaschutz zu verfolgen, um sich vor den direkten wie auch den indirekten, vorwiegend negativen Folgen eines starken Klimawandels zu schützen. Damit können die Aufwendungen für die Anpassung begrenzt und die fatalen Auswirkungen eines drastischen Klimawandels vermieden werden. Nicht zuletzt gilt es in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die Wissenschaft umso weniger über Auswirkungen weiss, insbesondere über das Ausmass sich selbstbeschleunigender Effekte, je weiter wir uns vom relativ gut untersuchten, uns vertrauten, über Jahrhunderte sich nur unmerklich ändernden Klima entfernen werden. Viel empirisches Wissen, von dem unsere heutige Gesellschaft in vielen Sektoren entscheidend profitiert, droht verloren zu gehen. Inwiefern hier die Wissenschaft mit einem sich rasch ändernden Klima Schritt halten kann, ist keinesfalls klar. Gegeben unser heutiges Verständnis über das Funktionieren des globalen Klimasystems wie im AR4 dargestellt, so muss auch dieses Unwissen eher als zusätzliches Risiko, denn als Rechtfertigung für Nichthandeln eingestuft werden.

### 3.8. Literatur

- 1 Abegg, B., S., A., Crick, F. & De Montfalcon, A., 2007. Climate change impacts and adaptation in winter tourism In: *Climate Change in the European Alps*. Agrawala, Paris, 25-60.
- 2 Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M.Q., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. & Takahashi, K., 2007. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717-743.
- 3 Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. & Shvidenko, A., 2007. Europe. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 541-580.
- 4 Arnell, N.W., Tompkins, E.L., Adger, N. & Delaney, K., 2005. Vulnerability to abrupt climate change in Europe. ESRC/ Tyndall Centre Technical Report No 34, ISBN, 1573-9147, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 63 pp.
- 5 Beniston, M., 2004. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 31(2): L02202.
- 6 Beniston, M., Keller, F. & Goyette, S., 2003. Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. *Theor. Appl. Climatol.*, 74(1-2): 19-31.
- 7 Bugmann, H., Zierl, B. & Schumacher, S., 2005. Projecting the impacts of climate change on mountain forests and landscapes. In: Huber, U.M., Bugmann, H.K.M. & Reasoner, M.A. (eds.), *Global change and mountain regions: an overview of current knowledge*. Springer, Berlin, pp. 477-488.
- 8 Bürki, R., Elsasser, H., Abegg, B. & Koenig, U., 2005. Climate change and tourism in the Swiss Alps. In: Hall, M.C. & Higham, J. (eds.), *Tourism, recreation and climate change*. Channel View, Clevedon, pp. 155-163.
- 9 Christenson, M., Manz, H. & Gyalistras, D., 2006. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energ. Conversion Manage.*, 47(6): 671-686.
- 10 Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. & Woodward, A., 2007. Human health. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 391-431.
- 11 Defila, C. & Clot, B., 2005. Phytophenological trends in the Swiss Alps, 1951-2002. *Meteorol. Z.*, 14(2): 191-196.
- 12 Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.F., Schmidhuber, J. & Tubiello, F.N., 2007. Food, fibre and forest products. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273-313.
- 13 Elsasser, H. & Bürki, R., 2002. Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Clim. Res.*, 20(3): 253-257.
- 14 Elsasser, H. & Messerli, P., 2001. The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Res. and Dev.*, 21(4): 335-339.
- 15 Fischlin, A. & Gyalistras, D., 1997. Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, 6(1): 19-37.
- 16 Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J. & Velichko, A.A., 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 211-272.
- 17 Frank, T., 2005. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. *Energ. Buildings*, 37(11): 1175-1185.
- 18 Fuhrer, J., Beniston, M., Fischlin, A., Frei, C., Goyette, S., Jasper, K. & Pfister, C., 2006. Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. *Clim. Change*, 79(1-2): 79-102.
- 19 Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C. & Braun-Fabrlander, C., 2005. Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Med. Wkly.*, 135(13-14): 200-205.
- 20 Gruber, S., Hoelzle, M. & Haeberli, W., 2004. Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophys.*