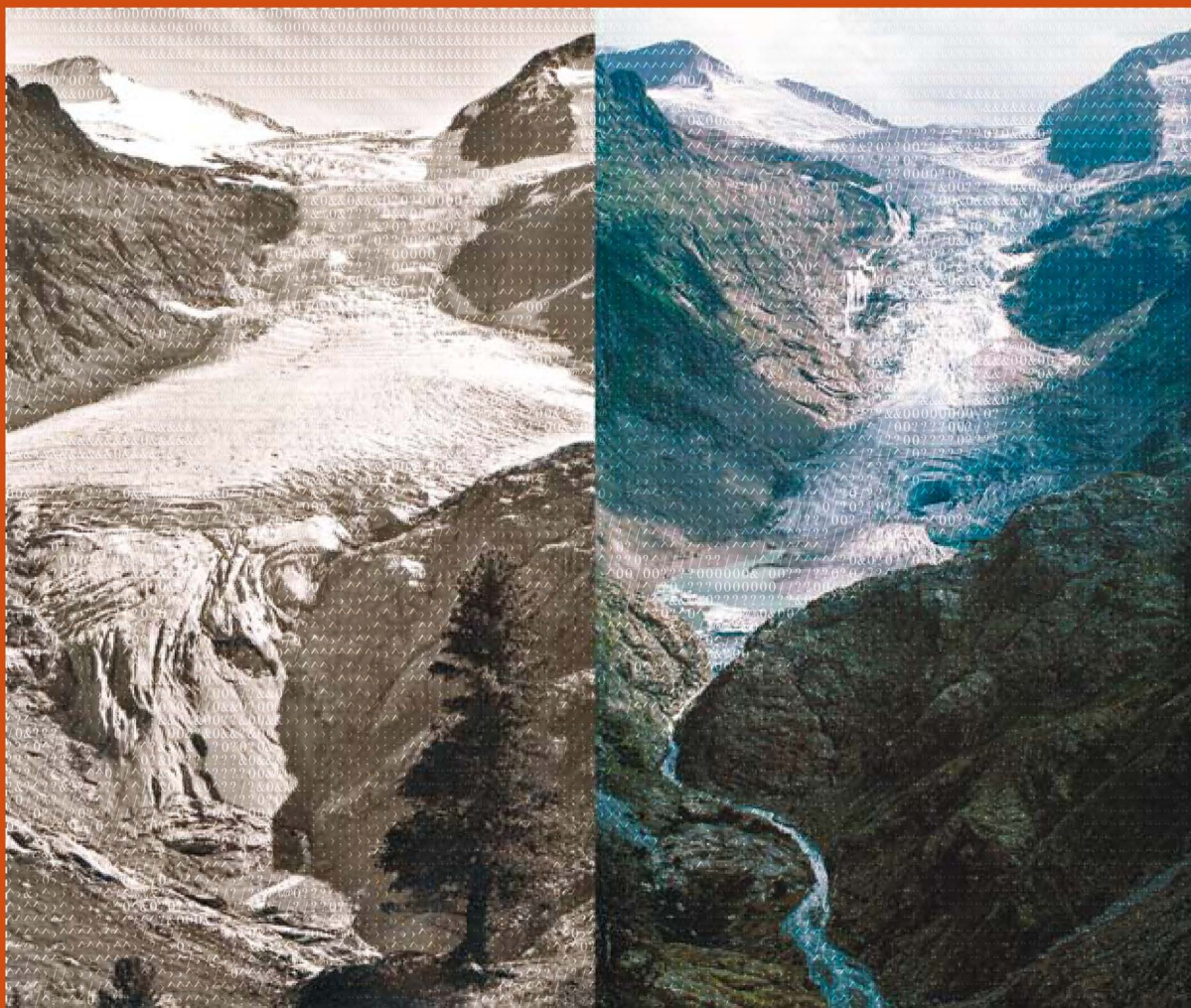


28
07

> Klimaänderung in der Schweiz

Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

28
—
07

> Klimaänderung in der Schweiz

Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autorinnen und Autoren

Nicole North, Natascha Kljun, Florian Kasser, Jürg Heldstab, Markus Maibach, Judith Reutimann, Madeleine Guyer (INFRAS)

Dank

Der Herausgeber dankt dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (Christof Appenzeller, Stephan Bader, Claudio Defila, Christoph Frei, Evelyn Zenklusen), Zürich, für die Bereitstellung von Daten, Analysen und Interpretationen zur Entwicklung des Klimas in der Schweiz

Begleitung BAFU

Markus Nauser, Sektion Klima

Zitiervorschlag

North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern. 77 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelfoto

Triftgletscher, Kt. Bern, 1948 und 2003.

Archiv VAW / ETH Zürich: E. Gyger (1948), M. Funk (2003)

Bezug

BAFU

Dokumentation

CH-3003 Bern

Fax +41 (0) 31 324 02 16

docu@bafu.admin.ch

www.umwelt-schweiz.ch/uz-0728-d

Bestellnummer / Preis:

UZ-0728-D / CHF 20.– (inkl. MWSt)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache erhältlich (UZ-0728-F/I).

© BAFU 2007

> Inhalt

Abstracts	5	4	Auswirkungen Gesellschaft und Wirtschaft	49	
Vorwort	7	4.1	Heiz- und Kühltage	49	
Überblick	8	4.2	Schneesicherheit von Wintersportgebieten	50	
Einleitung	11	4.3	Ausbreitung der Zecken und Zecken- Enzephalitis-Fälle	51	
<hr/>		4.4	Extremereignisse und versicherte Schäden	53	
1	Emissionen von Treibhausgasen	17	5	Antworten auf die Klimaänderung	55
1.1	Weltweite CO ₂ -Emissionen	17	5.1	Massnahmen zur Emissionsverminderung	55
1.2	CO ₂ -Emissionen in ausgewählten Ländern	18	5.1.1	Übersicht	55
1.3	Treibhausgasemissionen der Schweiz	19	5.1.2	Umsetzung des CO ₂ -Gesetzes	56
1.4	Treibhausgasemissionen und Einflussfaktoren	20	5.1.3	Verbrauch und CO ₂ -Emissionen von neuen Personenwagen	59
1.4.1	Haushalte	20	5.1.4	Energiebezugsfläche zertifizierter Gebäude	61
1.4.2	Industrie	21	5.1.5	Effekte von kantonalen Förderprogrammen auf die CO ₂ -Emissionen	62
1.4.3	Verkehr	22	5.2	Strategien im Umgang mit den Auswirkungen der Klimaänderung	64
1.4.4	Strassenverkehr	24	5.2.1	Übersicht	64
1.5	Treibhausgasemissionen nach Gasen	25	5.2.2	Gefahrenkarten und Gefahrenprävention	64
1.6	Treibhausgasintensität	26	5.2.3	Anpassungsmassnahmen im Tourismus	66
1.7	CO ₂ -Emissionen pro Haushalt im Ländervergleich	27	5.2.4	Bewässerung in der Landwirtschaft	68
1.8	Graue CO ₂ -Emissionen	28	5.2.5	Anpassung der Waldbewirtschaftung	69
<hr/>		6	Ausblick	71	
2	Entwicklung des Klimas in der Schweiz	30	<hr/>		
2.1	Entwicklung der Temperatur	30	Verzeichnisse	72	
2.2	Tagesmaxima- und Tagesminima-Temperaturen	32	Abkürzungen	72	
2.3	Hitze- und Frosttage, Tropennächte und Tautage	33	Abbildungen	73	
2.4	Starkniederschläge	35	Tabellen	74	
2.5	Schneebedeckung im Mittelland und in den Voralpen	37	Literatur	74	
<hr/>					
3	Auswirkungen Naturraum	38			
3.1	Gletschermassenbilanz und Gletscherlängenänderung	38			
3.2	Temperaturvariationen im Permafrost	40			
3.3	Wasserhaushalt	41			
3.4	Wassertemperatur von Fliessgewässern	42			
3.5	Bestand an Bachforellen	44			
3.6	Eisbedeckung von Seen im Mittelland	45			
3.7	Blütezeit der Kirschbäume in Liestal	46			
3.8	Ausbreitung der Hanfpalme in der Südschweiz	47			

> Abstracts

The climate is changing at a global scale. Switzerland – particularly the alpine regions – is affected above average by this change. Various indicators give evidence of the warming and its manifold impacts on nature, society, and the economy in Switzerland. By means of selected examples, the report illustrates the connections and interrelations between climate change, state of the environment, and society in the course of time and documents policy and economic responses to these changes.

Keywords:

Climate change, global warming, climate policy, impacts, adaptation, indicator, Switzerland

Das Klima ändert sich weltweit, und die Schweiz – insbesondere der Alpenraum – ist davon überdurchschnittlich betroffen. Verschiedene Indikatoren belegen die Klimaerwärmung und deren mannigfaltige Auswirkungen auf Natur, Gesellschaft und Wirtschaft in der Schweiz. Der Bericht illustriert anhand von ausgewählten Beispielen die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen Klimaänderung, Umweltzustand und Gesellschaft im Zeitverlauf und dokumentiert, wie Politik und Wirtschaft auf diese Veränderungen reagieren.

Stichwörter:

Klimawandel, Klimaänderung, globale Erwärmung, Klimapolitik, Auswirkungen, Anpassung, Indikator, Schweiz

Le climat de la Terre se modifie et la Suisse est particulièrement touchée, surtout dans l'Arc alpin. Différents indicateurs attestent du réchauffement climatique et de ses multiples effets sur la nature, la société et l'économie en Suisse. À l'aide d'exemples choisis, le présent rapport illustre les liens et les corrélations entre les changements climatiques, l'état de l'environnement et la société au cours du temps et montre la manière dont la politique et l'économie réagissent à ces modifications.

Mots-clés :

Changements climatiques, réchauffement global, politique climatique, effets, adaptation, indicateur, Suisse

Il clima della Terra sta cambiando. La Svizzera, soprattutto la regione alpina, è particolarmente interessata da tale fenomeno. Diversi indicatori attestano il riscaldamento climatico e i suoi molteplici effetti su natura, società ed economia in Svizzera. Sulla base di esempi appositamente selezionati, il presente rapporto illustra le relazioni e i nessi esistenti tra cambiamenti climatici, stato dell'ambiente e società nel corso del tempo e passa in rassegna le risposte date dalla politica e dall'economia a questi cambiamenti.

Parole chiave:

cambiamenti climatici, riscaldamento globale, politica climatica, effetti, adattamento, indicatore, Svizzera

> Vorwort

Das Bewusstsein für die Ursachen und vordergründigen Auswirkungen des Klimawandels ist in den letzten Jahren sowohl in der Wirtschaft, in der Politik wie auch bei der Bevölkerung deutlich gestiegen. Die Dringlichkeit weltweit koordinierten Handelns wird heute kaum noch bestritten und zahlreiche Initiativen für den Klimaschutz werden umgesetzt.

Der Klimawandel manifestiert sich nicht nur in den Wetter-Anomalien und Naturkatastrophen, welche die Medienberichterstattung dominieren. Von mindestens ebenso grosser Bedeutung wie die Extremereignisse sind die subtilen, oft unumkehrbaren Veränderungen, die in den letzten Jahrzehnten eingesetzt haben und unseren Alltag immer stärker beeinflussen werden. Der vorliegende Bericht will den Blick für diese langfristigen, schleichenden Auswirkungen des Klimawandels schärfen und zur Versachlichung der Diskussion beitragen.

Der Bericht zeigt beispielhaft, dass die Schweiz bereits begonnen hat, sich der Herausforderung Klimaänderung zu stellen: Der Wintertourismus begegnet der abnehmenden Schneesicherheit mit künstlicher Beschneigung und im Mittelland werden vermehrt Subventionen für Bewässerungsanlagen beantragt. Solche Antworten auf die Klimaänderung sind nicht nur kostspielig – sie erhöhen gleichzeitig den Druck auf natürliche Ressourcen wie Wasser und Energie. Hier wird deutlich, dass wirkungsvolle Wirtschafts- und Klimapolitik Hand in Hand gehen müssen.

Die negativen Auswirkungen der Klimaänderung müssen so früh als möglich erkannt und die Wirksamkeit ergriffener Massnahmen laufend evaluiert werden, um politische wie privatwirtschaftliche Anpassungen sinnvoll vorzunehmen. Das BAFU wird deshalb weiterhin aussagekräftige Indikatoren dokumentieren und die Erkenntnisse periodisch publizieren.

Bruno Oberle
Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Überblick

In Fachkreisen ist heute unbestritten, dass sich das Klima ändert und Auswirkungen in Natur und Gesellschaft spürbar werden. Die Klimaänderung wird vor allem im weltweit beobachteten Temperaturanstieg sichtbar. Der Alpenraum ist aufgrund der erhöhten Bedeutung des Klimas für die Lebensbedingungen im Gebirge von den Auswirkungen der Klimaänderung besonders betroffen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert Indikatoren, welche die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen Klima(änderung), Umweltzustand und Gesellschaft im Zeitverlauf illustrieren. Seine Struktur folgt der Prozesskette, die sich vom Menschen als Verursacher der Klimaänderung über die Auswirkungen bis hin zu den Aktivitäten zur Beschränkung und Bewältigung dieser Auswirkungen erstreckt. Der Bericht ist in fünf Schwerpunktbereiche gegliedert.

- > Entwicklung der Treibhausgasemissionen
- > Auswirkungen auf das Klimasystem
- > Auswirkungen auf den Naturraum
- > Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft
- > Massnahmen zur Verminderung der Klimaänderung sowie zur Anpassung an die Auswirkungen

Gesellschaft und Wirtschaft stehen in einer engen Wechselwirkung mit den klimatischen Bedingungen. Das Wetter ist darum auch regelmässig Gegenstand des öffentlichen Interesses und ungewöhnliche Witterungsbedingungen werden immer mehr mit der von Menschen verursachten Klimaänderung in Verbindung gebracht. Nicht jede Wetterkapriole darf aber als Indiz für den Klimawandel interpretiert werden. Das Wetter weist eine hohe natürliche Variabilität auf, von welcher sich der langsam ablaufende Klimawandel nur über grössere Zeiträume eindeutig unterscheiden lässt. Lange Beobachtungsreihen sind dafür eine wichtige Voraussetzung.

Der Bericht greift darum aus den zahlreichen Indizien für die Klimaänderung einzelne, gut belegte Beispiele heraus, anhand welcher sich die komplexen gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Klima, Natur und Gesellschaft anschaulich illustrieren lassen. Daraus ergibt sich ein erstes, grobes Bild zur Entwicklung des Klimas und den damit verbundenen Auswirkungen in der Schweiz. Um für die Beurteilung des Handlungsbedarfs, für die Erfolgskontrolle von Massnahmen, aber auch für die Vermeidung von Fehlanpassungen über die notwendigen Entscheidungsgrundlagen zu verfügen, ist es notwendig, weitere Themenbereiche aufzuarbeiten und zu dokumentieren.

Die folgende Tab. 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten im Bericht dargestellten Indikatoren.

Tab. 1 > Wichtigste Indikatoren und Aussagen zu Ursachen, Auswirkungen und Massnahmen.

Die Tabelle zeigt eine Auswahl an Indikatoren und die dazugehörigen wichtigsten Aussagen und Trends aus den verschiedenen Bereichen. Weitere Indikatoren sind im Bericht dargestellt.

Bereich	Indikator	Wichtigste Aussagen und Trends
Treibhausgas-emissionen	Treibhausgasemissionen nach Sektoren	In der Schweiz stagnieren die THG-Emissionen ¹ seit 1990, die Anteile der einzelnen Sektoren haben sich jedoch leicht verschoben. Der Verkehrssektor ist der grösste THG-Emittent, gefolgt von den Haushalten und der Industrie.
	Treibhausgasemissionen der Haushalte	Der Heizenergieverbrauch pro m ² Wohnfläche konnte seit 1990 reduziert werden. Die CO ₂ -Emissionen der Schweizer Haushalte sind jedoch im internationalen Vergleich deutlich höher. Tiefe Abgaben auf Brenn- und Treibstoffen und grössere Autos tragen dazu bei.
	Treibhausgasemissionen der Industrie	Industrieproduktion und THG-Emissionen laufen noch immer Hand in Hand. Eine Entkoppelung der Entwicklung von Produktion und Emissionen ist nicht erkennbar.
	Treibhausgasemissionen des Verkehrs	Die THG-Emissionen des Strassenverkehrs sind seit 1990 markant angestiegen. Die Emissionen des Flugverkehrs steigen nach einem Einbruch zwischen 2001 und 2003 wieder an.
	Treibhausgasemissionen nach Gasen	Aufgrund der grossen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Änderungen seit 1950 hat sich der Anteil von CO ₂ von 54 % auf 85 % erhöht, und der Anteil von CH ₄ und N ₂ O ist von 46 % auf 13 % gesunken.
	Treibhausgasintensitäten	Im Verhältnis zur Bevölkerung, zum Bruttoinlandprodukt (BIP) und zum Energieverbrauch sind die Emissionen bis Ende der 1990er Jahre gesunken. Seither stagnieren sie.
	Pro-Kopf-CO ₂ -Emissionen im Ländervergleich	Der Einbezug der Emissionen aus Vorleistungen im Ausland erhöht die durchschnittlichen Pro-Kopf-CO ₂ -Emissionen der Schweiz von 5,8 auf 9,5 t CO ₂ (Stand 1995).
Entwicklung des Klimas in der Schweiz	Jahresmitteltemperatur	Seit 1900 haben die mittleren Jahrestemperaturen um rund 1,5 °C zugenommen, alleine seit 1961 um 0,4 °C pro Dekade. Von den 20 wärmsten Jahren seit 1900 entfallen 13 auf die Zeit seit 1990. Dabei sind die Temperaturen im Sommer stärker gestiegen als im Winter.
	Temperaturmaxima und -minima	Die Jahresmittelwerte der Tageshöchst- und Tagestiefsttemperaturen sind seit 1960 in allen Landesteilen um 0,3 bis 0,5 °C pro Jahrzehnt gestiegen.
	Hitze- und Frosttage, Tropennächte und Tautage	In der ganzen Schweiz hat die Anzahl Hitzetage in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen, während die Anzahl Frosttage deutlich gesunken ist. Tropennächte haben bisher lediglich in der Südschweiz stark zugenommen. Die beobachtete Zunahme der Tautage ist v.a. für hochalpine Regionen mit Permafrost von Bedeutung.
	Starkniederschläge	Während bei den Niederschlägen (Jahresdurchschnitt) keine signifikante Trendaussage zur Entwicklung seit Beginn des 20. Jahrhunderts möglich ist, hat die Häufigkeit von intensiven Niederschlägen vor allem auf der Alpennordseite im Winter und Herbst um bis zu 70 % zugenommen.
	Schneebedeckung im Mittelland und in den Voralpen	Die Nullgradgrenze ist in den letzten 50 Jahren in den Wintermonaten um 67m pro Jahrzehnt gestiegen. Schneemengen und -häufigkeit nehmen im Mittelland und den Voralpen entsprechend ab.
Auswirkungen auf den Naturraum	Gletschermassenbilanz	Gletscher gehören in der globalen Umweltbeobachtung zu den aussagekräftigsten Klimaindikatoren. Seit Mitte der 1980er Jahre zeigt sich ein klarer Trend zum kontinuierlichen und beschleunigten Massenverlust der Alpengletscher.
	Temperaturvariationen im Permafrost	Die Mächtigkeit der Auftauschicht des Permafrosts zeigt an vielen Standorten einen zunehmenden Trend, mit Maximalwerten seit Beginn dieses Jahrzehnts.
	Eisbedeckung der Mittellandseen	Bei elf Seen im Mittelland zeigt sich seit den 1940er Jahren ein Trend zu seltenerer Eisbedeckung.

¹ THG: Treibhausgas

Bereich	Indikator	Wichtigste Aussagen und Trends
Auswirkungen auf den Naturraum <i>(Fortsetzung)</i>	Wassertemperatur von Fliessgewässern und Bachforellenbestand	Die Flüsse im Mittelland werden seit den 1960er Jahren immer wärmer. Ebenso steigt die Anzahl Stunden, an denen die Wassertemperatur über 18 °C steigt. Zeitgleich mit dieser Erwärmung nimmt der Bestand an Bachforellen ab.
	Blütezeit der Kirschbäume	Die Beobachtung der Entwicklungsstadien von Pflanzen liefert gute Indizien für die lokalen Auswirkungen von Klimaänderungen. Seit 1950 zeigt sich ein Trend zur Vorverschiebung der Blütezeit von Kirschbäumen um 15 bis 20 Tage.
	Ausbreitung der Hanfpalme in der Südschweiz	Die vermehrt auftretenden Winter ohne Frost haben die Ausbreitung der Hanfpalme im Tessin seit den 1950er Jahren begünstigt. Heute gibt es bereits Hinweise auf eine Ausdehnung nördlich der Alpen.
Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft	Heiz- und Kühltage	Heiztage (mittlere Aussentemperatur < 12 °C) nehmen in der ganzen Schweiz ab und Kühltage (mittlere Aussentemperatur > 18,3 °C) nehmen tendenziell zu.
	Schneesicherheit von Wintersportgebieten	Die Anzahl Tage mit Schnee nehmen vor allem in Lagen unter 1500 m.ü.M. tendenziell ab. Eine zeitliche Verschiebung des Schneefalls in die späteren Wintermonate zeigt sich auch in höheren Lagen.
	Ausbreitung von Zecken und Zecken-Enzephalitis-Fälle	Die Zunahme der Zeckenenzephalitis-Fälle ist nur zum Teil mit dem wärmer gewordenen Klima zu erklären. Andere Faktoren spielen ebenso eine Rolle.
	Extremereignisse und versicherte Schäden	Seit Beginn der 1970er Jahre kann ein Anstieg der Schadenskosten durch Hochwasser und Rutschungen beobachtet werden. Dieser ist jedoch im Vergleich zur Zunahme der Bevölkerung, Siedlungsfläche und Wertdichte unterproportional.
Antworten auf die Klimaänderung a) Verminderung der Treibhausgasemissionen	Umsetzung CO ₂ -Gesetz	Die Treibhausgasemissionen konnten seit 1990 stabilisiert, aber nicht gesenkt werden. Die Energiepolitik (Programm «EnergieSchweiz»), die freiwilligen Massnahmen der Industrie und die rückläufigen Emissionen in der Landwirtschaft bewirken eine Emissionsreduktion; der Anstieg im Verkehrssektor sowie der Trend zu Mehrmissionen infolge Bevölkerungszunahme und Wirtschaftswachstum kompensieren diese Abnahme.
	CO ₂ -Emissionen neuer Personenwagen	Die durchschnittlichen CO ₂ -Emissionen von Neuwagen konnten zwar auf 187g CO ₂ /km gesenkt werden; das vereinbarte Ziel für die Reduktion des Treibstoffverbrauchs bis 2008 ist mit der gegenwärtigen Trendentwicklung jedoch unvereinbar.
	Energiebezugsfläche zertifizierter Gebäude	Die Energiebezugsfläche zertifizierter Gebäude (Minergie und Minergie-P) nimmt seit 1998 stetig zu, betrug 2006 jedoch erst 0,9 % der gesamten Energiebezugsfläche der Schweiz.
	Kantonale Förderprogramme	Der Kanton Basel-Stadt erzielt mit Fördermassnahmen im Rahmen des Programms «EnergieSchweiz» die mit Abstand höchste Einsparung an CO ₂ -Emissionen. Einige Kantone verfügen nach wie vor über kein Förderprogramm.
b) Strategien im Umgang mit der Klimaänderung	Gefahrenkarten und Gefahrenprävention	Gefahrenkarten sind ein zentrales Instrument des Naturgefahrenmanagements. Für gegen 30 % der Landesfläche existieren Gefahrenkarten für Hochwasser, Rutsch- und Sturzprozesse. In der Nutzungsplanung der Gemeinden sind diese Karten jedoch erst zu einem kleinen Teil umgesetzt.
	Massnahmen im Wintertourismus	Beschneiungsanlagen sind vor allem in höheren Lagen ein geeignetes Mittel, um in schneearmen Wintern einen sicheren Skibetrieb zu gewährleisten. Ihr Einsatz ist in der Schweiz seit anfangs der 1990er Jahre exponentiell gestiegen. 2005 konnten fast 20 % aller Pisten beschneit werden.
	Bewässerung in der Landwirtschaft	Der Bund hat seit 2005 seine Subventionspraxis für Bewässerungsanlagen geändert. Nicht nur in den inneralpinen Trockentälern des Wallis und Südbündens werden heute Zuschüsse ausgerichtet. Die generelle Regelung der Ansprüche verschiedener Nutzer bei häufigerer Wasserknappheit steht noch aus.
	Anpassung der Waldbewirtschaftung	Mischwälder mit einheimischen Laubhölzern sind besser an die Klimaerwärmung angepasst als Nadelwälder. Dem Kriterium der Standortangepasstheit der Baumarten wird seit einiger Zeit vermehrt Beachtung geschenkt.

> Einleitung

Das Klima ändert

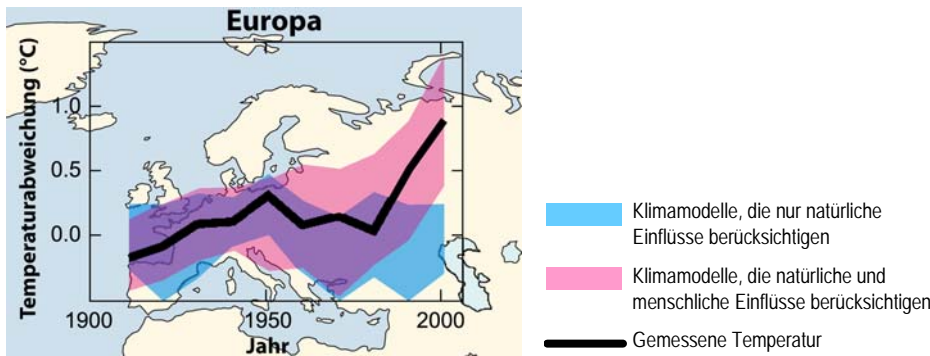
Mit der Veröffentlichung des 4. Wissensstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007a) im Februar 2007 ist das Wissen um die Zusammenhänge von Treibhausgasemissionen, Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und globaler Erwärmung beträchtlich gestiegen.

Der grösste Teil des Anstiegs der globalen mittleren Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist durch den Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre verursacht. Seit etwa 1970 wird weltweit eine Erwärmung beobachtet, die mit natürlichen Einflussfaktoren (z. B. Schwankungen der Sonnenaktivität oder Vulkanausbrüche) allein nicht mehr erklärbar ist. Abb. 1 zeigt dies für Europa.

Die Unsicherheit über den Einfluss anthropogener, d.h. vom Menschen verursachter, Treibhausgasemissionen auf das Klima ist heute beseitigt.

Abb. 1 > Tatsächliche Temperaturentwicklung in Europa im Vergleich zu Klimamodellierungen.

Die schwarze Kurve zeigt für die letzten hundert Jahre die Abweichung der zehnjährigen Temperaturmittel vom Durchschnittswert der Periode 1901–1950. Farblich hinterlegt ist die Bandbreite von Klimamodellierungen, in denen nur natürliche (blau) beziehungsweise natürliche und anthropogene (rosa) Einflüsse berücksichtigt wurden.



IPCC (2007a)

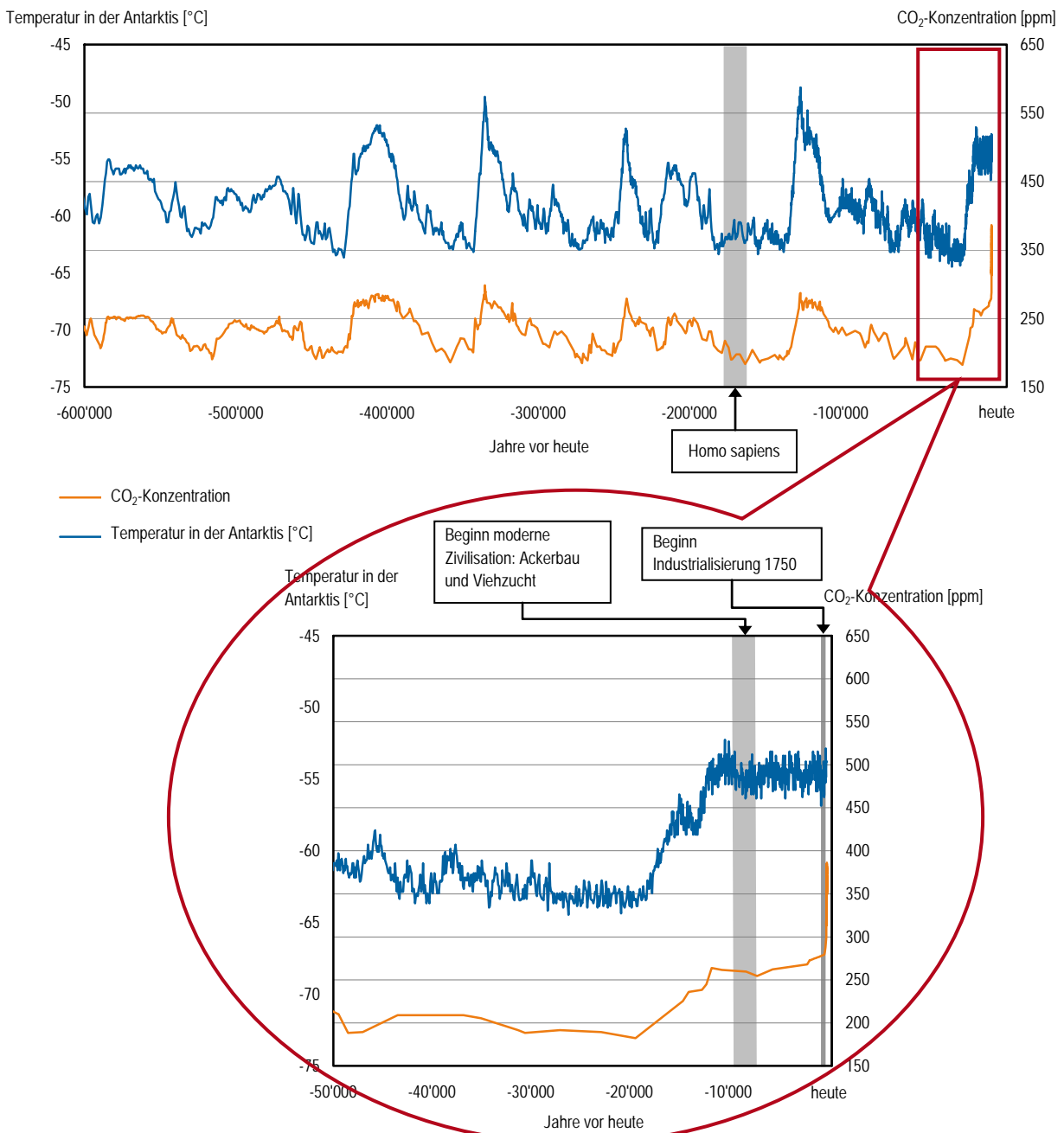
Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist als Folge von menschlichen Aktivitäten – primär der Verbrauch fossiler Brennstoffe und Landnutzungsänderungen – von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm im Jahr 1750 auf über 380 ppm im Jahre 2007 angestiegen.² Die heutige CO₂-Konzentration übertrifft die aus Eisbohrkernen aus der Antarktis bestimmte natürliche Bandbreite der Werte der letzten 600'000 Jahre (180 bis 300 ppm) bei weitem. Niemals in dieser Zeit ist die CO₂-Konzentration derart rasch angestiegen wie in den letzten 50 Jahren. Die Analyse von Eisbohrkernen zeigt auch, dass eine hohe CO₂-Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 600'000 Jahren immer eng gekoppelt war mit höheren Umgebungstemperaturen (Abb. 2).

Kohlendioxid (CO₂) ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Seine Konzentration wird in ppm (Anzahl Moleküle pro Million Moleküle trockener Luft) gemessen.

² Daten Mauna Loa (NOAA/ESRL/GMD DATA)

Abb. 2 > CO₂-Konzentration und Temperaturen in der Antarktis.

Entwicklung der CO₂-Konzentration (orange) und der Temperatur in der Antarktis (blau) während den letzten 600'000 Jahren (oben) und während den letzten 50'000 Jahren (unten). Die Daten stammen aus Bohrkernen, die dem antarktischen Eis entnommen worden sind. Die Analyse der im Eis gefangenen Luftblasen ermöglicht die Ermittlung der CO₂-Konzentration. Die Temperatur wurde aus dem Deuteriumgehalt des Eises abgeleitet. Jährliche Schichten und physikalisch-chemische Messungen im Eis ermöglichen Rückschlüsse auf das Alter des analysierten Eises. Die Daten für die CO₂-Konzentration ab 1958 stammen aus Messungen der Forschungsstation Mauna Loa, Hawaii.



EPICA Community Members (2004), Siegenthaler et al. (2005), NOAA (2007)

Der moderne Mensch (*Homo sapiens*), der vor gut 150'000 Jahren auf der Erde erscheint, hat bedeutende Klimaschwankungen erlebt. Seine weltweite Ausbreitung wird unter anderem seiner grossen Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Klimate zugeschrieben. Seit die Menschheit sesshaft geworden ist und begonnen hat, Ackerbau und Viehzucht zu betreiben (vor 11'500–5'500 Jahren), ist das globale Klima allerdings von einer Phase relativer Stabilität geprägt. Der durch den Menschen in jüngster Zeit ausgelöste Klimawandel droht dieser Phase ein abruptes Ende zu setzen und dürfte in Temperaturbereiche führen, die in der modernen Zivilisationsgeschichte noch nie erreicht wurden.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden spürbar – weltweit und in der Schweiz

Weltweit gibt es heute deutliche Belege für die Betroffenheit natürlicher Systeme von regionalen Klimaänderungen, insbesondere durch den Temperaturanstieg. Mit hoher Gewissheit trägt die durch den Menschen verursachte und beobachtete Erwärmung beispielsweise zur Gletscherschmelze, zu veränderten Wasserabflussraten, wärmeren Gewässern, zu früher einsetzenden Blütezeiten, längeren Vegetationszeiten oder zur Wanderung von Pflanzen und Tieren in nördlichere Breiten oder höhere Lagen in vielen Regionen der Welt bei (IPCC 2007b).

Das schweizerische Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC) und das Forum für Klima und globale Umweltveränderungen der schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (ProClim-) haben auf Grundlage eines regionalen Klimawandelszenarios bis 2050 eine qualitative Beurteilung der Verwundbarkeit verschiedener natürlicher und menschlicher Systeme in der Schweiz erarbeitet (OcCC/ProClim-2007). Auf der OcCC-Studie aufbauend hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) Studien zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels veranlasst. Dabei wurden neben den Auswirkungen des Klimawandels im Inland auch die Auswirkungen des Klimawandels in anderen Weltgegenden auf die Schweiz als kleine, international stark vernetzte Volkswirtschaft untersucht (Ecoplan et al., 2007; Infras et al., 2007).

Für die Schweiz werden negative Auswirkungen der Klimaerwärmung insbesondere auf die unbelebte Natur (Wasserkreislauf, Gletscher, Permafrost, Schneedecke), auf das Auftreten von Schadenereignissen (Temperaturextreme, Starkniederschläge, Hochwasser, Hangrutschungen und Murgänge, Trockenheit) und auf Ökosysteme (Flora und Fauna, Wälder) dokumentiert und prognostiziert. Neben der natürlichen Umwelt sind der Wintertourismus, der Energie- und der Gesundheitssektor die verwundbarsten Sektoren. Andere Sektoren wie die Landwirtschaft können von einer moderaten Klimaerwärmung profitieren solange die Klimaänderung das bis 2050 erwartete Ausmass nicht überschreitet. Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass Auswirkungen, die der Schweiz durch die klimabedingte Beeinträchtigung internationaler Handelsbeziehungen erwachsen könnten, von mindestens vergleichbarer Grössenordnung sind wie die Folgen im engeren nationalen Rahmen.

Zahlreiche natürliche Systeme haben bereits auf regionale Klimaänderungen reagiert.

Bisherige Beobachtungen und Modellrechnungen lassen erwarten, dass die Schweiz (speziell der Alpenraum) von der Klimaänderung überdurchschnittlich stark betroffen ist.

Probleme der «Messung» des Klimawandels und seiner Auswirkungen

Die Abschätzung der Auswirkungen der Klimaänderung auf die natürliche und menschliche Umwelt ist sehr anspruchsvoll:

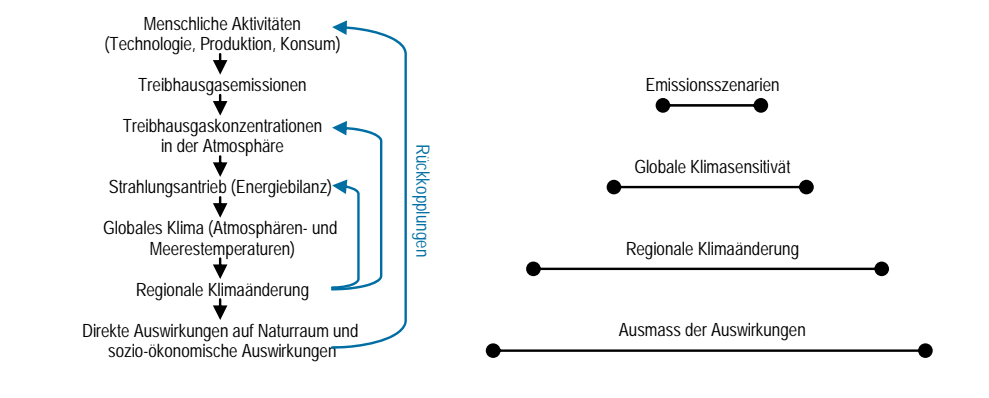
1. Die grosse Bandbreite der Witterungsschwankungen innerhalb von Wochen, Monaten und Jahren unterstreicht die hohe natürliche Variabilität des Klimas. Dies gilt ganz besonders für die Schweiz, die aufgrund ihrer Lage am Alpenkamm unterschiedlichsten meteorologischen Einflüssen ausgesetzt ist. Das Erkennen neuer Trends ist aufgrund der grossen, natürlichen Schwankungen nicht einfach.
2. Die vom Menschen angestossene Klimaänderung vollzieht sich aufgrund der grossen Trägheit des Klimasystems langsam aber unaufhaltsam über Zeiträume von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Die Auswirkungen des Klimawandels werden daher in der Regel von schneller ablaufenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen (z. B. der Strukturwandel der Weltwirtschaft, technologischer Fortschritt) überlagert. Die Folgen der Klimaänderung von den übrigen Einflüssen völlig zu isolieren ist darum in der Regel nicht möglich.
3. Zwischen menschlicher Einflussnahme auf das Klima und den sich ergebenden kurz-, mittel- und langfristigen Anpassungen, Ausgleichsreaktionen und Rückkopplungen im Klimasystem sowie in den vom Klima beeinflussten Bereichen der un belebten und belebten Natur bestehen komplizierte Wechselwirkungen und Abhängigkeiten. Die Vorstellung einer einfachen Beziehung zwischen Ursache (im Klimasystem) und Wirkung (in Ökosystemen oder im gesellschaftlichen Alltag) wird dieser Komplexität nicht gerecht. Indikatoren für die Auswirkungen der Klimaänderung beruhen darum auf zwar wissenschaftlich fundierten und plausiblen, oft aber nicht streng beweisbaren Ursache-Wirkung-Beziehungen.

Die Komplexität des Klimasystems und seiner Wechselwirkungen mit der Natur lässt sich mit einfachen Ursache-Wirkung-Beziehungen nicht erfassen.

Abb. 3 zeigt – in Anknüpfung an den dritten Punkt – einen vereinfachten Wirkungsmechanismus des Klimawandels sowie das steigende Mass der Unsicherheit mit zunehmender Tiefe der Analyse. Sie verdeutlicht, dass Rückkopplungsprozesse die Auswirkungen beeinflussen und damit auch die Auswirkungsanalyse erschweren.

Abb. 3 > Wirkungskette und Ausmass der Unsicherheit.

Wirkungskette von Treibhausgasemissionen zu Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft (links) und das Ausmass der damit verbundenen Unsicherheit (rechts). Rückkopplungseffekte (blau) sind beispielhaft dargestellt. Klimasensitivität: Ausmass, in welchem das Klimasystem auf eine Veränderung der Treibhausgaskonzentration reagiert.



Eigene Darstellung nach OECD (2004) und Hope (2005).

Indikatoren für die Entwicklung des Klimas und damit verbundene Folgen für Natur und Gesellschaft in der Schweiz

Der vorliegende Bericht dokumentiert Indikatoren, für welche die Daten bereits vorhanden und relativ einfach verfügbar sind. Ziel ist es, die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen Klima(änderung), Umweltzustand und Gesellschaft im Zeitverlauf anhand gut belegter Beispiele anschaulich zu illustrieren. Indikatoren wurden für die folgenden Bereiche erfasst und interpretiert.

- > Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz (nach Gasen, Sektoren, Einflussfaktoren, etc.)
- > Entwicklung des Klimas, insbesondere seit 1960 (Temperatur, Niederschläge)
- > Auswirkungen auf den Naturraum (Gletscher, Wasserhaushalt, Gewässer, Flora und Fauna)
- > Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft (Energie, Tourismus, Gesundheit, Extremereignisse)
- > Die Reaktion der Politik: Verminderung der Klimaänderung (insbesondere die Umsetzung des CO₂-Gesetzes) und der Umgang mit den bereits heute spürbaren oder erwarteten Auswirkungen

Indikatoren illustrieren die Klimaänderung und deren Auswirkungen auf Natur, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik in der Schweiz.

Aufgrund der jährlich der Klimakonvention einzureichenden Emissionsinventare und der Erfolgskontrolle zur Umsetzung des CO₂-Gesetzes sind beim BAFU detaillierte Daten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen verfügbar. Diese erlauben es, Veränderungen zwischen den verschiedenen Emittentengruppen mitzuverfolgen und helfen bei der Identifikation der Bereiche, wo der Handlungsbedarf für Reduktionsmassnahmen besonders gross ist. Da insbesondere die Industrieländer seit 1990 gehal-

ten sind, vergleichbare Emissionsinventare zu führen, besteht auch die Möglichkeit, die Situation der Schweiz im Ländervergleich darzustellen.

Im Bereich der meteorologischen und klimatologischen Daten besteht ein dichtes Netz von über das ganze Territorium verteilten Beobachtungsstationen mit teils sehr langen Messreihen. Seit 2005 betreibt das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) zudem eine in das internationale Beobachtungsnetzwerk Global Climate Observing System eingebundene Fachstelle (Swiss GCOS Office), welche verschiedene klimarelevante Beobachtungen der Bundesämter, Hochschulen und Forschungsanstalten koordiniert und sich für die Fortführung der wichtigsten langen Messreihen im Rahmen eines Nationalen Klima-Beobachtungssystems einsetzt (Seiz, Foppa, in press). Die Fachstelle leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Dokumentation der Entwicklung der Klimaänderung und ihrer Auswirkungen auf den Naturraum in der Schweiz. Was die Auswirkungen auf die Gewässer betrifft, sind die beim BAFU durchgeführten Messungen von besonderer Bedeutung. Weiterhin kann auf die Ergebnisse einzelner Forschungs- und Monitoringprojekte über die Entwicklung von Flora und Fauna zurückgegriffen werden.

Zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf Gesellschaft und Wirtschaft existieren bisher kaum systematische Erhebungen. Zudem stellt sich hier verschärft das Problem der Trennung des Einflusses klimatischer von anderen, z. B. wirtschaftlichen oder politischen Faktoren. Die Verbesserung der Datengrundlage ist aber sowohl für die Früherkennung als auch für die Beurteilung von geeigneten Anpassungsmassnahmen wichtig.

Bei den Indikatoren für klimapolitisch motivierte Massnahmen ist die Unterscheidung zwischen Massnahmen zur Emissionsreduktion und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bedeutsam. Während für die Erfolgskontrolle von Massnahmen, die die Emissionsentwicklung beeinflussen, relativ gute Grundlagen bestehen, steckt die Dokumentation des Umgangs mit den Auswirkungen des Klimawandels – wohl auch weil es sich in der Regel um schleichende Prozesse handelt – erst in den Anfängen. Einzig im Bereich der Naturgefahren kann an die unabhängig vom Klimawandel bestehende Tradition der Gefahrenbeurteilung und -vorsorge angeknüpft werden.

Leistungsfähige Monitoringsysteme sind eine notwendige Voraussetzung für die Beurteilung des Handlungsbedarfs und die Massnahmenplanung, für die Vermeidung von Fehlentwicklungen sowie für die Erfolgskontrolle. Bereichen, in welchen die Entwicklung heute erst sehr lückenhaft erfasst wird oder wo Grundlagen für die Beurteilung möglicher Auswirkungen fehlen, ist darum in Zukunft vermehrt Beachtung zu schenken. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass bestehende Beobachtungsinstrumentarien weiterhin gepflegt und wo nötig ausgebaut werden, da viele Entwicklungen nur über längere Zeiträume analysiert und im Hinblick auf den politischen Handlungsbedarf schlüssig interpretiert werden können.

1 > Emissionen von Treibhausgasen

Ein Blick über die Landesgrenzen zeigt: In den Industrieländern nehmen die Treibhausgasemissionen tendenziell immer noch zu, in den ehemaligen Ostblockstaaten sind die Emissionen heute deutlich tiefer als 1990, in den Entwicklungsländern sind sie kontinuierlich angestiegen. In der Schweiz ist die Summe der Treibhausgasemissionen seit 1990 in etwa konstant geblieben. Die Entwicklung ist geprägt von der Zunahme im Energiesektor und einer entsprechenden Abnahme in den meisten übrigen Sektoren.

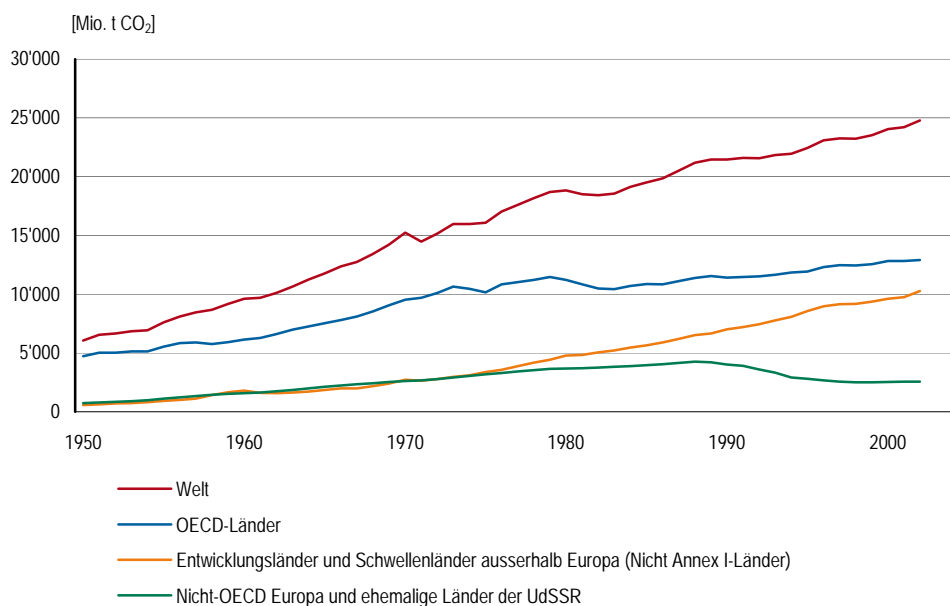
1.1 Weltweite CO₂-Emissionen

Anthropogene CO₂-Emissionen entstehen zur Hauptsache bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Seit der Industrialisierung nehmen die globalen CO₂-Emissionen zu. In der Zeit von 1950 bis 2002 haben sie sich vervierfacht und betragen im Jahr 2002 ca. 25 Milliarden Tonnen CO₂ (Abb. 4).

Die weltweit wichtigsten Energieträger sind Erdöl, Kohle und Erdgas. Bei der Verbrennung von 1 kg Heizöl oder Benzin entstehen 3,14 kg CO₂.

Abb. 4 > CO₂-Emissionen 1950–2002.

CO₂-Emissionen weltweit und für drei ausgewählte Ländergruppen. Dargestellt sind die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und aus der Zementproduktion (die Emissionsbilanz von Entwaldung und Aufforstung ist nicht enthalten).



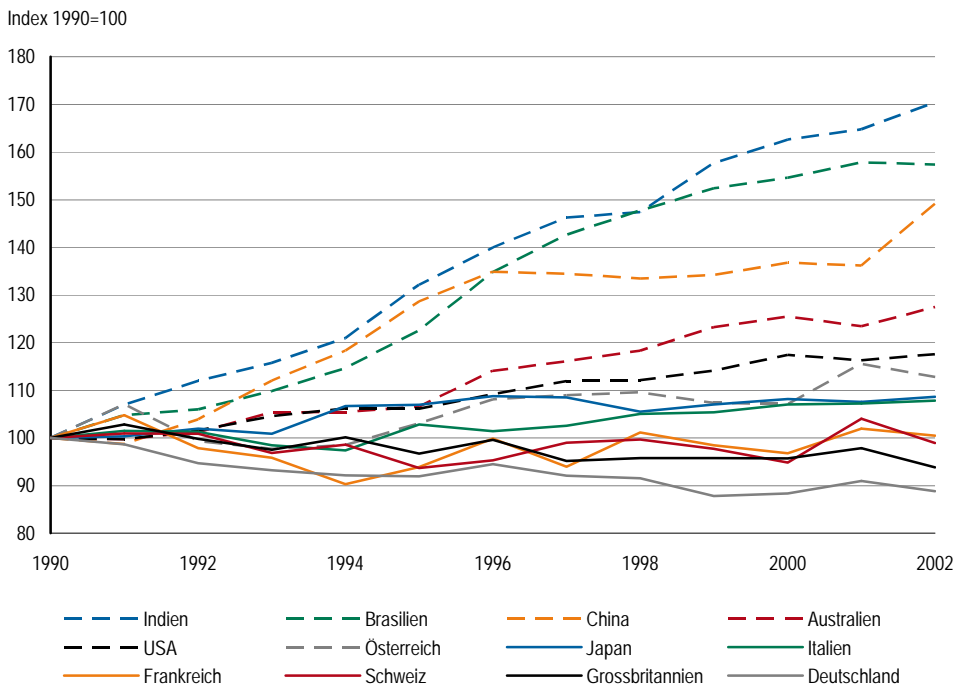
- > In den OECD-Ländern wurde der starke Anstieg in den 1960er Jahren durch die beiden Erdölshocks 1973 und 1979 zwar abgebremst; der Wachstumstrend hält jedoch weiterhin an.
- > Nach dem Zusammenbruch des Ostblocks und der nachfolgenden Auflösung der UdSSR sanken die CO₂-Emissionen in den betroffenen Ländern infolge des wirtschaftlichen Niedergangs ab. Seit 2000 sind die Emissionen dieser Länder ungefähr konstant oder nehmen wieder zu.
- > In Entwicklungs- und Schwellenländern (z. B. China, Indien) ausserhalb Europa nehmen die CO₂-Emissionen ebenfalls in der gesamten Periode zu – bis 1970 zunächst langsam, seither zunehmend schneller.

1.2 CO₂-Emissionen in ausgewählten Ländern

Die Entwicklung der CO₂-Emissionen seit 1990 verläuft im Ländervergleich sehr unterschiedlich. Die stärkste Zunahme (in absoluten Zahlen) findet in Schwellenländern statt. In wenigen europäischen Ländern konnte gar ein Rückgang erreicht werden.

Abb. 5 > CO₂-Emissionen für ausgewählte Länder 1990–2002.

Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und aus der Zementproduktion (die Emissionsbilanz von Entwaldung und Aufforstung ist nicht enthalten).



Ein Vergleich der CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2002 zeigt folgende Unterschiede zwischen den Entwicklungen in den einzelnen Ländern:

- > Wachstum: Die Emissionen der Schwellenländer Indien, Brasilien und China sind wegen ihres Produktionswachstums sehr stark angestiegen. Auch Australien und die USA verzeichnen ein hohes Wachstum ihrer Emissionen.
- > Stagnation: In mehreren Ländern Europas konnte die Zunahme gestoppt werden. Dazu gehören die Schweiz und Frankreich (auch Holland und Belgien, nicht in der Abbildung eingetragen).
- > Rückgang: Grossbritannien, aber auch Schweden (nicht in der Abbildung eingetragen) ist es dank der Umstellung von Kohle auf Erdöl und Erdgas sowie der Förderung erneuerbarer Energieträger gelungen, die Emissionen zu reduzieren. In Deutschland hat zusätzlich die Restrukturierung der Wirtschaft in der ehemaligen DDR zum Emissionsrückgang beigetragen.

1.3

Treibhausgasemissionen der Schweiz

In der Schweiz haben die Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid, Methan, Lachgas, synthetische Gase) seit 1990 nicht mehr zugenommen. Die Anteile der einzelnen Sektoren haben sich jedoch etwas verschoben. In Abb. 6 ist die Summe aller Sektoren dargestellt. Damit die Emissionen der verschiedenen Gase zusammengezählt werden können, müssen sie mit ihrem Erwärmungspotenzial (GWP³) gewichtet werden. Die gewichtete Summe der Gase wird in der Einheit «CO₂-Äquivalent» ausgedrückt.

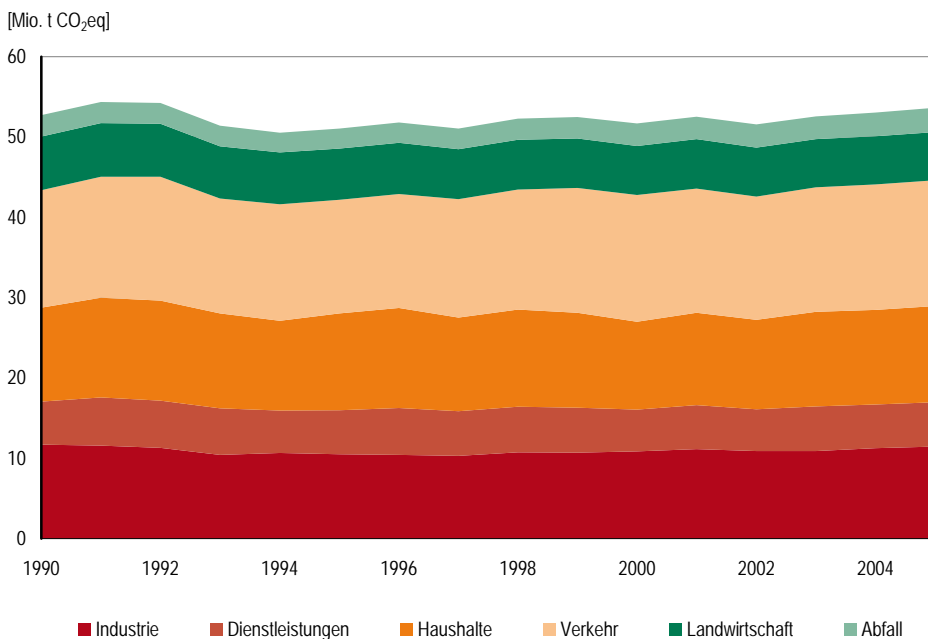
Das Total der Treibhausgasemissionen zeigt jährliche Schwankungen, die im Wesentlichen auf variierende Wintertemperaturen zurückzuführen sind: In kalten Wintern wird mehr geheizt, was zu höheren Emissionen in den beiden Sektoren Haushalte und Dienstleistungen führt. Die jährlichen Schwankungen dieser beiden Sektoren folgen der Veränderung der Heizgradtage (siehe Kapitel 1.4.1).

Die Gesamtemissionen lagen 2005 um 3 % höher als 1990. Der Verkehr zeigt die höchste Zunahme (7 %), bei der Industrie sind die Emissionen 2005 nach einer Stagnation in den 1990er Jahren fast wieder auf das Niveau von 1990 angestiegen, sie betragen 2005 2 % weniger als 1990. In der Landwirtschaft sind die Emissionen um 10 % gesunken, was dem Rückgang des Tierbestands entspricht. Im Abfallsektor haben die Emissionen um etwa 10 % zugenommen: Die Verbrennung von Abfällen verursacht zwar CO₂, dient aber auch der Energieerzeugung und vermeidet die langfristig grösseren Methan-Emissionen aus Abfalldetonen.

³ GWP: Global Warming Potential. Vergleichsbasis ist CO₂ (GWP = 1). 1 t Methan entspricht 21 t CO₂ (GWP = 21); 1 t Lachgas entspricht 310 t CO₂ (GWP = 310). Die synthetischen Gase haben GWP-Werte zwischen 140 (HFC 152s) und 23 900 (SF₆, Schwefelhexafluorid). Die Werte beziehen sich auf die relative Wirkung eines Gases über einen Zeitraum von 100 Jahren.

Abb. 6 > Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990–2005.

Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990–2005, unterteilt nach sechs Sektoren.



BAFU (2007a)

1.4 Treibhausgasemissionen und Einflussfaktoren

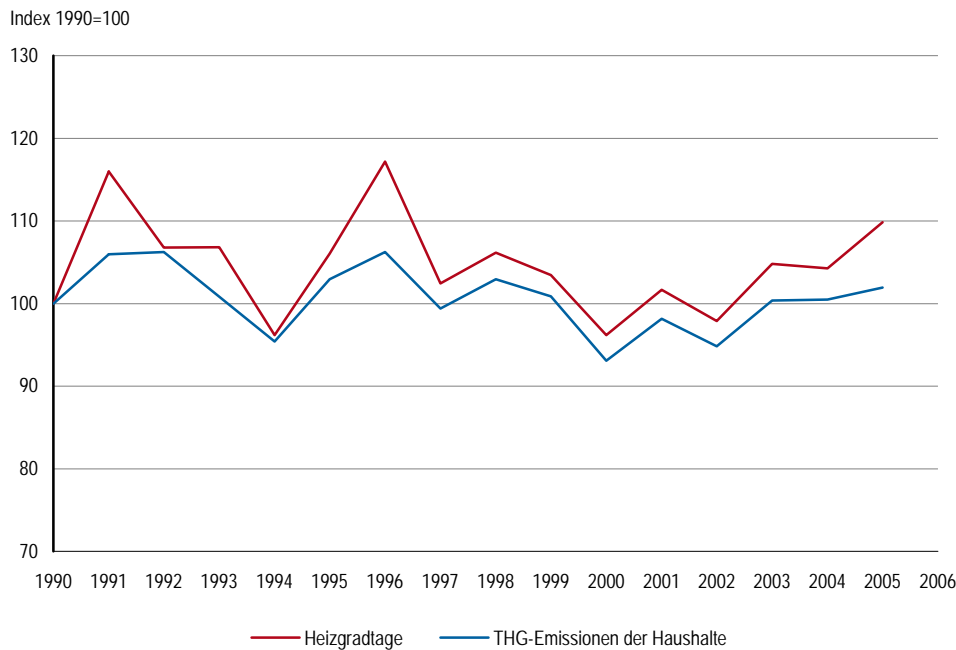
1.4.1 Haushalte

Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser erfolgt in der Schweiz mehrheitlich mit fossilen Brennstoffen, was den weitaus grössten Teil der Treibhausgasemissionen aus Haushalten ausmacht. Abb. 7 zeigt die jährlichen Heizgradtage⁴ (Schweizer Durchschnitt) zusammen mit den Treibhausgasemissionen der Haushalte.

⁴ Heizgradtag: An jedem Tag mit weniger als 12 °C Durchschnittstemperatur wird die Differenz der mittleren Temperatur zu 20 °C berechnet. Ist z. B. die mittlere Temperatur 6 °C, so werden diesem Tag 20–6 = 14 Heizgradtage zugeordnet.

Abb. 7 > Treibhausgasemissionen der Haushalte und Heizgradtage 1990–2005.

Vergleich der Treibhausgasemissionen mit den jährlichen Heizgradtagen (indexiert).
 THG: Treibhausgas



BFE (2006) und BAFU (2007a)

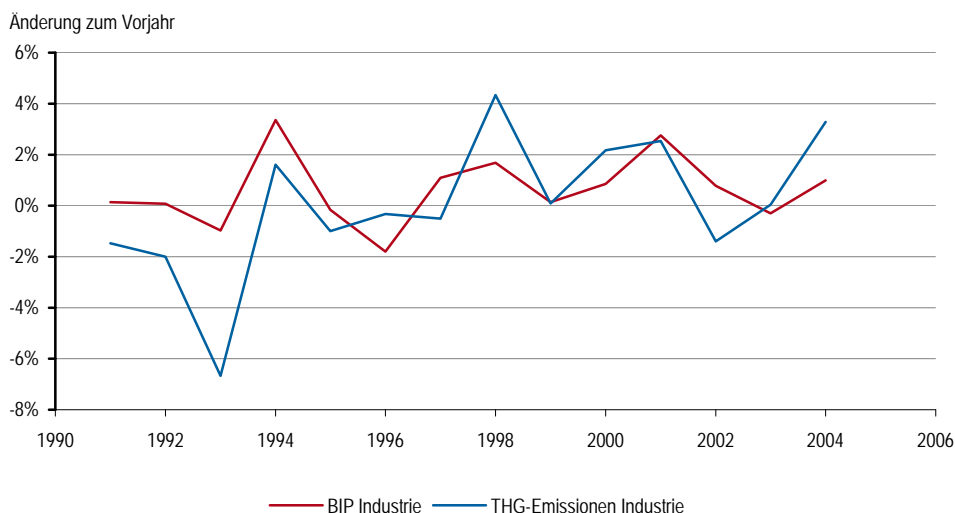
Beide Verläufe korrelieren sehr gut, was zum Ausdruck bringt, dass in kalten Wintern mehr geheizt wird als in warmen Wintern. Wird berücksichtigt, dass in derselben Zeitspanne die Zahl der Personen, die Wohnfläche pro Person und damit die beheizte Fläche grösser geworden sind, lässt sich folgern, dass der Heizenergieverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche reduziert werden konnte (andernfalls hätten die Treibhausgasemissionen stärker zugenommen als die Zahl der Heizgradtage). Die reduzierte spezifische Heizenergie ist das Ergebnis besserer Gebäudeisolationen und effizienterer Heizsysteme. Dieser Umstand zeigt sich quantitativ auch in Abb. 14 (Kap. 1.6).

1.4.2 Industrie

Der Produktionsumfang der Industrie und ihre Treibhausgasemissionen sind eng miteinander verknüpft. Abb. 8 zeigt die jeweiligen Änderungen zum Vorjahr (ein negatives Vorzeichen bedeutet eine Abnahme gegenüber dem Vorjahr).

Abb. 8 > Jährliche Veränderungsrate Treibhausgasemissionen und BIP Industrie 1990–2004.

Treibhausgasemissionen und Bruttoinlandprodukt (BIP real) des Sektors Industrie. Aufgetragen sind nicht die absoluten Werte sondern die Änderungen zum Vorjahr. In den Emissionen sind auch die synthetischen Gase⁵ enthalten. THG: Treibhausgas.



BFE (2006) und BAFU (2007a)

Die Produktion zeigt grosse und kurzfristige Schwankungen, beginnend mit einer Stagnation zu Beginn der 1990er Jahre. Industrieproduktion und Treibhausgasemissionen laufen Hand in Hand. Die Änderungen von Jahr zu Jahr sind seit 1994 annähernd gleich gross. Wenn die Emissionskurve unterhalb der BIP-Produktionskurve läge, oder wenn sich die beiden Kurven sogar zunehmend auseinander bewegten, könnte von einer Entkopplung zwischen Produktion und Emissionen in der Industrie gesprochen werden. Eine solche Tendenz ist jedoch nicht erkennbar.

1.4.3 Verkehr

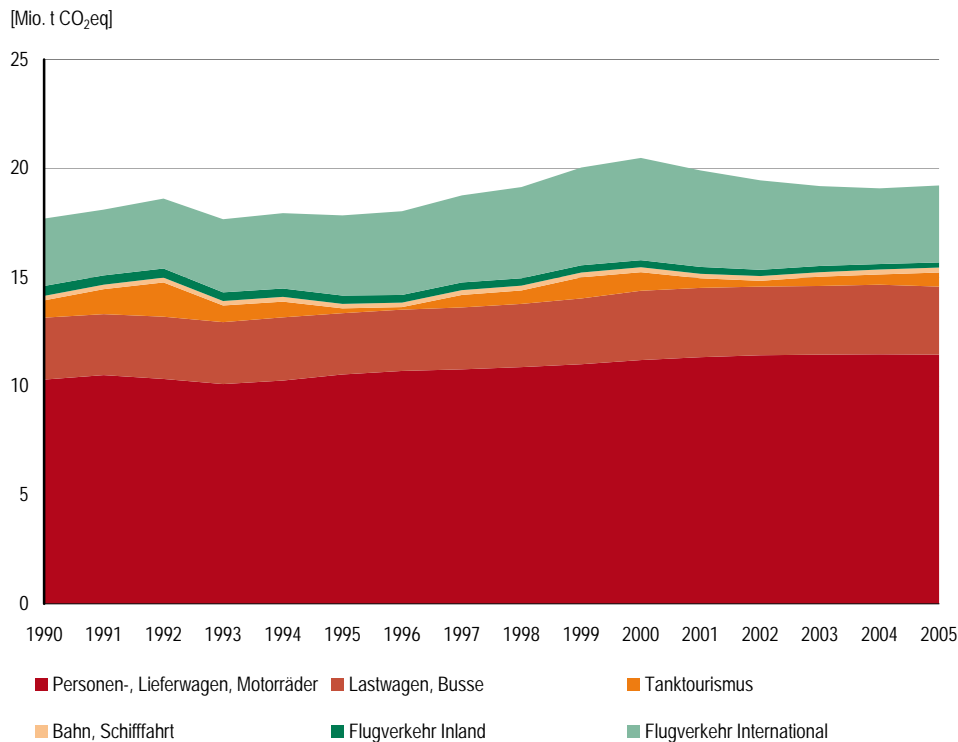
Der Sektor Verkehr enthält den Strassen-, Schienen-, Schiff- und Flugverkehr. Für das Kyoto-Protokoll werden die Treibhausgasemissionen nach dem «Absatzprinzip» berechnet; im Strassenverkehr entspricht das dem Absatz von Benzin und Diesel aller schweizerischen Tankstellen. Weil Benzin in der Schweiz billiger ist als im Ausland, tanken viele Grenzgänger in der Schweiz, was den schweizerischen Absatz erhöht. Das Umgekehrte gilt für Diesel, allerdings in geringerem Ausmass als beim Benzin. Netto ergibt sich ein Treibstoffexport, der in Abb. 9 separat als «Tanktourismus» ausgewiesen ist. Im Flugverkehr wird der Treibstoffverbrauch von Inland- und Auslandflügen separat bestimmt. Für das Kyoto-Protokoll ist in diesem Fall nur der Inlandverbrauch massgebend.

⁵ Zu den synthetischen Gasen gehören:

- Fluorkohlenwasserstoffe (FKW / HFC): Kältemittel, Schäumungsmittel, Treibgas in Spraydosen
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW / PFC): Herstellung von Halbleitern, Lösungsmittel, Wärmeträger
- Schwefelhexafluorid (SF₆): Hochspannungs-Isolatoren, Aluminium- und Magnesiumguss, Herstellung von Halbleitern

Abb. 9 > Treibhausgasemissionen des Verkehrs 1990–2005.

Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Verkehrsträgern. Tanktourismus: siehe Erklärung im Text.



BAFU (2007b)

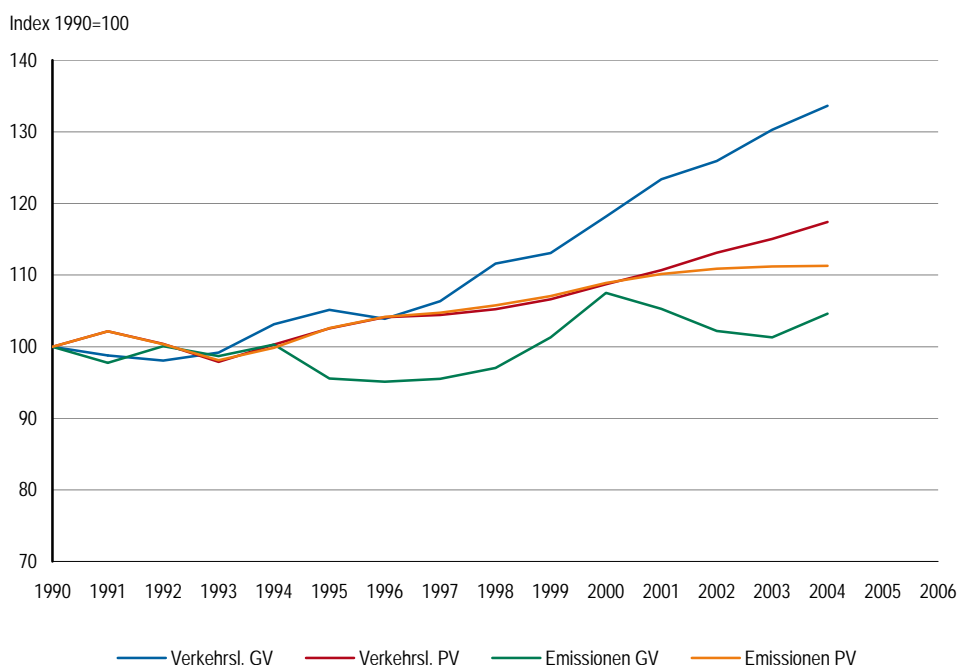
- > Strassenverkehr: Die Treibhausgasemissionen der Personen- und Lieferwagen haben in der Zeit von 1990 bis 2005 um 11 % zugenommen, bei den Lastwagen und Bussen beträgt der Zuwachs 10 %. Der Tanktourismus fluktuiert stark, weil er sensitiv auf Preisdifferenzen zwischen Inland und Ausland reagiert.
- > Bahn und Schifffahrt: Der Schienenverkehr (Diesellokomotiven für Rangier- und Dienstverkehr) emittierte 2005 knapp 100'000 t CO₂eq, der Schiffsverkehr auf schweizerischen Gewässern knapp 130'000 t CO₂eq. Zwischen 1990 und 2005 stiegen die Emissionen beim Schienenverkehr um 15 %, beim Schiffsverkehr um 1 %.
- > Flugverkehr: Die Emissionen stiegen von 1990–2005 um 6 %. Im Jahr 2000 – vor dem «Grounding» der Swissair – war ein Maximum erreicht worden mit 41 % über dem Wert von 1990. Nach dem «Grounding» sanken die Emissionen bis 2004 ab und steigen seither wieder an.

1.4.4 Strassenverkehr

Die Verkehrsleistung umfasst die Beförderungsleistung (Personenverkehr) sowie die Transportleistung (Güterverkehr). Seit der Stagnationsphase 1990–1993 wachsen die Verkehrsleistungen sowohl des Personen- wie auch des Güterverkehrs.

Abb. 10 > Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs und Verkehrsleistung 1990–2004.

Strassenverkehrsleistungen und Treibhausgasemissionen (indexiert). Die Verkehrsleistung ist in Personenkilometer (PV: Personenverkehr) und in Tonnenkilometer (GV: Güterverkehr) angegeben.



BAFU (2007b) und BFS (2007a)

Die Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs werden in erster Linie durch die Entwicklung der Fahrleistung (gefahrte Kilometer) und damit durch den Treibstoffverbrauch bestimmt. Dieser Umstand zeigt sich in den stetig wachsenden Emissionen des Personenverkehrs. Der Güterverkehr fluktuiert stärker als Reaktion auf konjunkturelle Schwankungen. Dank der stetig verbesserten Abgastechnologie (Katalysatoren) steigen die Emissionen von Methan und Lachgas nicht im selben Mass wie die Fahrleistung. Bremsend auf die Emissionen wirken sich zudem die Verbesserung der Energieeffizienz der Personenwagenflotte und der Trend zu mehr Diesel betriebenen Personenwagen. Während 1990–2000 die Emissionen mit den Verkehrsleistungen parallel laufen, bleiben die Emissionen ab 2001 hinter den Verkehrsleistungen zurück und deuten die genannte Effizienzsteigerung an.

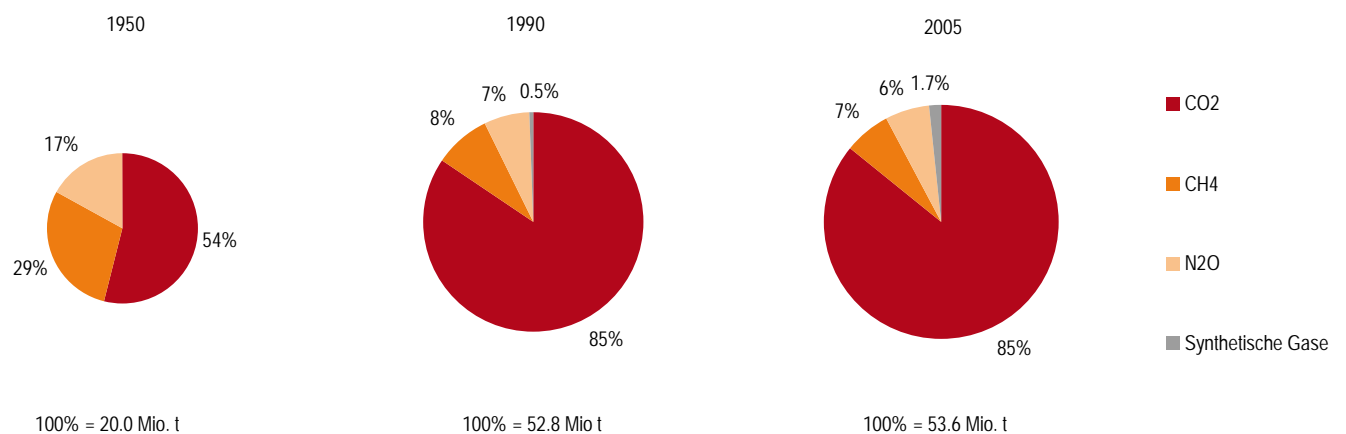
Bei den Emissionen des Güterverkehrs wird die Wirkung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe sichtbar, die nach ihrer Einführung im Jahr 2001 zu einer vorübergehenden (2001–2003) Reduktion der gefahrenen Kilometer geführt hat. Bei gleichzeitig steigender Transportleistung bedingt dies den Einsatz grösserer Güterfahrzeuge, was durch die schrittweise Heraufsetzung von der 28t- auf die 40t-Limite tatsächlich eingetreten ist.

1.5 Treibhausgasemissionen nach Gasen

Von 1950 bis 2005 hat sich die Summe der Treibhausgasemissionen in der Schweiz von 20,0 Mio. t CO₂-Äquivalent⁶ um den Faktor 2,7 auf 53,6 Mio. t erhöht. Der Anteil des Kohlendioxids stieg von 54 % bis auf 85 %, während der Anteil von Methan und Lachgas von 46 % auf 13 % sank.

Abb. 11 > Treibhausgasemissionen nach Gasen 1950, 1990 und 2005.

Anteile von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und der synthetischen Gase (HCF, PCF und SF₆) an den gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz (Vergleich auf Basis der CO₂-Äquivalente). Die Grösse der Diagramme ist proportional zu den absoluten Emissionsmengen.



BUWAL (1995) und BAFU (2007b)

Die Gründe für die Verschiebungen der Anteile der verschiedenen Gase sind bei den grossen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Änderungen der letzten 50 Jahre zu suchen.

> Das Verkehrsvolumen auf der Strasse hat enorm zugenommen: Zum Beispiel ist der Bestand an Personenwagen von ca. 150'000 auf 3,8 Mio. gewachsen. Die Fahrleistungen aller Fahrzeuge lagen 1950 gesamthaft bei 3,5 Mia. Fahrzeug-Kilometern und sind bis 2005 auf 63 Mia. Fahrzeug-km gestiegen. Entsprechend höher fallen heute auch der Treibstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen aus.

⁶ vgl. Kapitel 1.3

- > Einwohner, Anzahl Wohnungen und beheiztes Gebäudevolumen sind gestiegen und damit auch der Brennstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen.
- > In der Landwirtschaft haben sich zwar Betriebsgrössen und -strukturen gegenüber 1950 bedeutend verändert. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen und der Nutztierbestand sind aber in etwa gleich geblieben. Folglich haben die Methan- und Lachgasemissionen, die beide für die Landwirtschaft typisch sind, nur geringe Änderungen erfahren (die Abnahme von ca. 10% der Emissionen seit 1990 entspricht dem Rückgang beim Nutztierbestand). Relativ hingegen sind die Anteile Methan und Lachgas viel kleiner, weil die CO₂-Emissionen in den übrigen Sektoren stark zugenommen haben.
- > Synthetische Gase gab es 1950 noch nicht. Sie sind erst mit dem Aufkommen von Kälte-/Klimatechnik, Schaumstoffen und Halbleitertechnik entwickelt worden und haben vor allem seit dem Verbot der Ozonschicht zerstörenden FCKW und H-FCKW in den 90er Jahren grössere Verbreitung gefunden.

1.6 Treibhausgasintensität

Treibhausgasintensitäten zeigen die Treibhausgasemissionen bezogen auf verschiedene sozioökonomische Grössen.

Abb. 12 > Treibhausgasemissionen und Bevölkerung.

Treibhausgasemissionen pro Kopf der Bevölkerung, 1990–2005. Index 1990=100

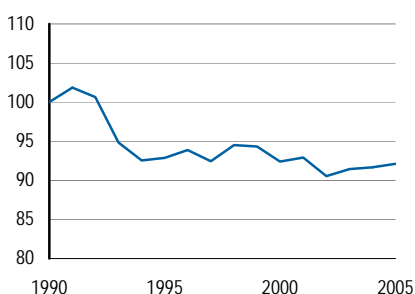


Abb. 13 > Treibhausgasemissionen und Bruttoinlandprodukt.

Treibhausgasemissionen pro CHF Bruttoinlandprodukt (real), 1990–2005. Index 1990=100

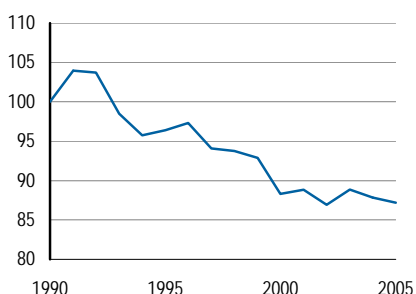
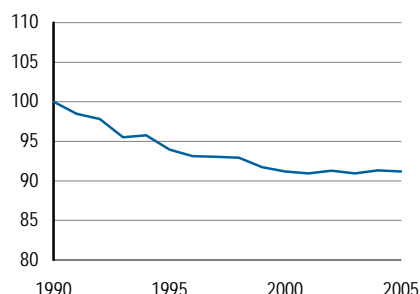


Abb. 14 > Treibhausgasemissionen und Endenergieverbrauch.

Treibhausgasemissionen pro Endenergieverbrauch, 1990–2005. Index 1990=100



BFE (2006) und BAFU (2007b)

- > Bevölkerung: Die Treibhausgasemissionen bezogen auf die Zahl der Einwohner (Abb. 12) zeigen, dass Anfang der 90er Jahre die Pro-Kopf-Emissionen um rund 7% abgenommen haben und seither ungefähr konstant auf dem Wert von 7,2 t CO₂-Äquivalent pro Einwohner liegen (nur CO₂: ca. 6 t pro Einwohner).
- > Bruttoinlandprodukt (BIP): Auch bezogen auf das BIP zeigt sich eine Abnahme der Treibhausgasemissionen (Abb. 13). Der Trend hält seit 1991 an. Ursachen sind die Tertiarisierung (Umwandlung der Volkswirtschaft von einer Industrie- hin zu einer Dienstleistungsgesellschaft) und die Steigerung der Energieeffizienz der Produktion.

- > Endenergieverbrauch: Zwischen 1990 und 1999 haben die Treibhausgasemissionen pro verbrauchte Endenegeeinheit um ca. 8 % abgenommen, was vor allem mit der Verlagerung von Erdöl zu Erdgas sowie der steigenden Bedeutung der Elektrizität zusammenhängt. Seit 2000 sind die spezifischen Emissionen konstant (Abb. 14).

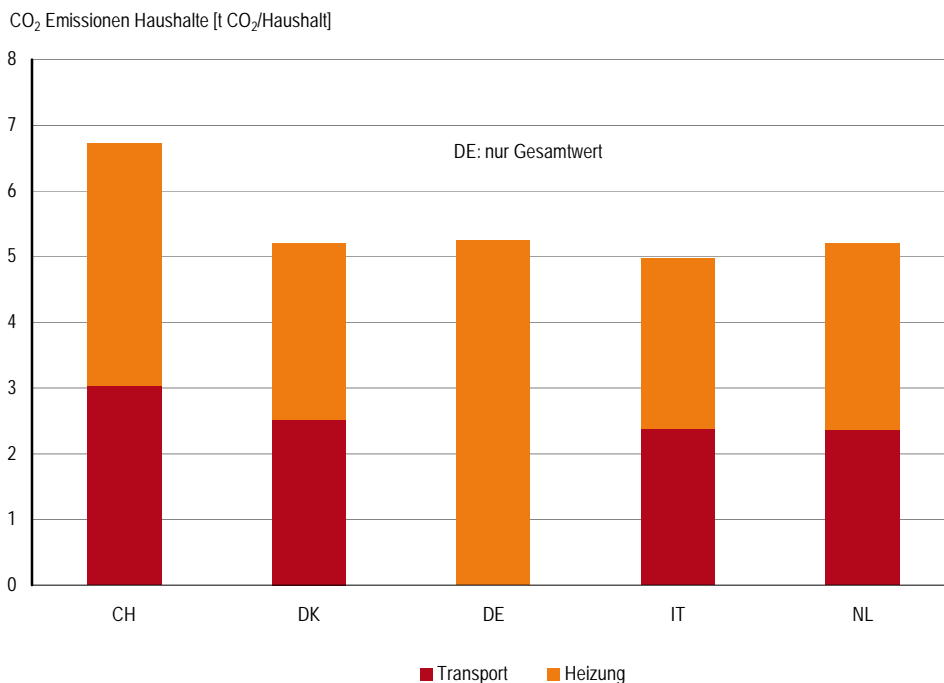
Der gemeinsame Trend der drei Indikatoren zeigt, dass bei wachsender Bevölkerung, wachsendem BIP und wachsendem Endenergieverbrauch die Emissionen bis Ende der 1990er Jahre reduziert werden konnten. Seither ist eine Stagnation eingetreten. Die gemäss den Vorgaben von CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll notwendige Reduktion der Gesamtemissionen, welche eine dauerhafte Entkoppelung der Emissionen vom Energieverbrauch bedingt, ist noch nicht gelungen (vgl. Kapitel 5.1).

1.7 CO₂-Emissionen pro Haushalt im Ländervergleich

Die Emissionen pro Haushalt sind in der Schweiz deutlich höher als die Vergleichswerte für Dänemark, Deutschland, Italien und Holland (BFS 2005).

Abb. 15 > CO₂-Emissionen pro Haushalt im internationalen Vergleich.

Durchschnittliche CO₂-Emissionen eines Haushaltes in der Schweiz und in vier EU-Ländern.



Ursachen für die höheren CO₂-Emissionen der Schweizer Haushalte:

- > Die Abgaben auf Benzin, Diesel und Heizöl sind in der Schweiz verglichen mit anderen europäischen Ländern deutlich niedriger und haben einen geringeren Anteil an den Haushaltsausgaben. Dies schlägt sich in einem höherem Verbrauch und höheren CO₂-Emissionen nieder.
- > 2001 verbrauchte ein Personenwagen in der Schweiz durchschnittlich 8,3 Liter pro 100 km, in der EU jedoch nur 6,7 Liter pro 100 km. Die durchschnittliche Leistung von Neuwagen in der Schweiz betrug 2002 100 kW (136 PS), in der EU hingegen nur 77 kW (105 PS). Das führt bei gleicher Fahrleistung zu höherem Treibstoffverbrauch und zu höheren Treibhausgasemissionen.

1.8 Graue CO₂-Emissionen

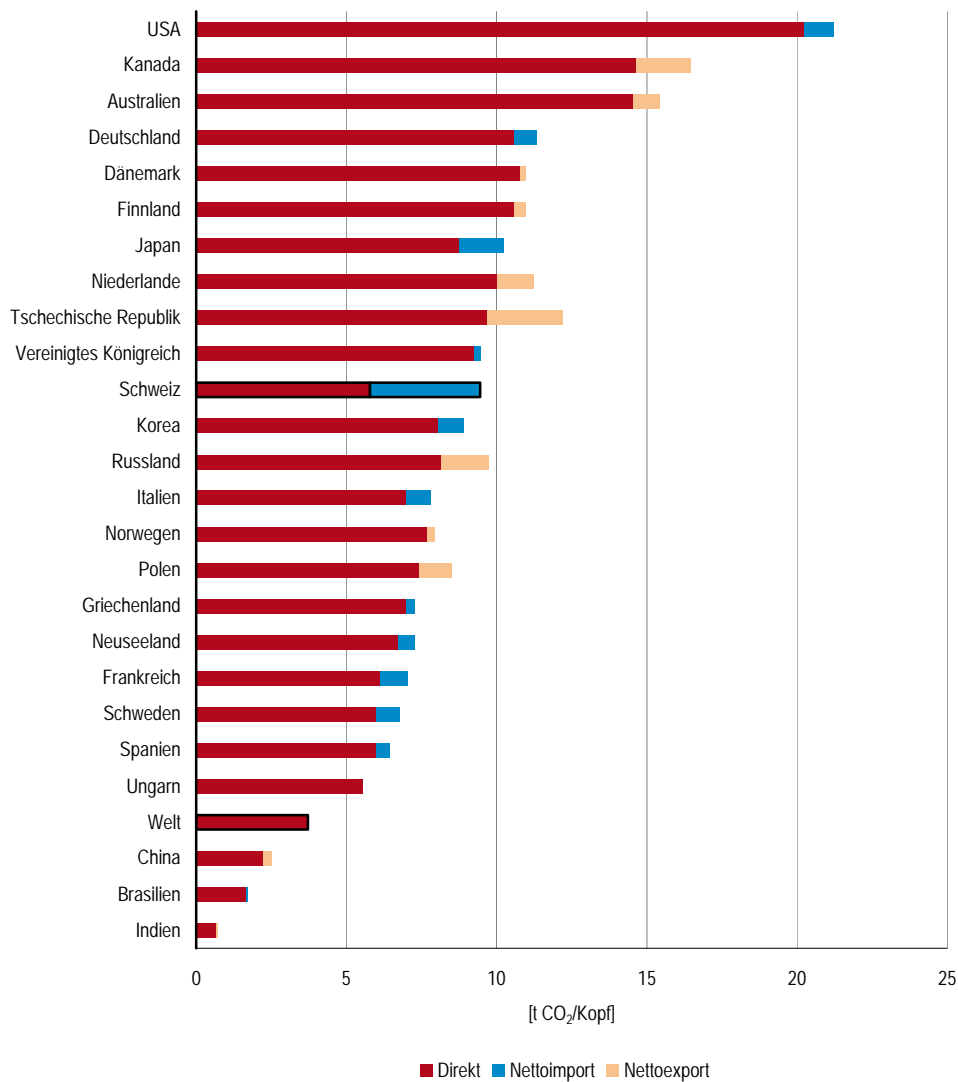
Im Rahmen des Kyoto-Protokolls sind die im Inland entstehenden Emissionen massgebend für die nationale Treibhausgasbilanz. Dieser Ansatz berücksichtigt «graue» Emissionen nicht. Dies sind die Emissionen, die im Ausland bei der Herstellung eines Produktes oder eines Energieträgers sowie bei der Entsorgung von Produktionsabfällen entstehen (Jungbluth et al. 2007). Beispiele sind die Förderung und Verarbeitung von Rohöl oder die Herstellung von Stahl.

Die Emissionsbilanz von Volkswirtschaften, die viele Güter und Dienstleistungen aus dem Ausland beziehen, zeigt damit nur einen Teil der Realität: Die grauen Emissionen von in die Schweiz importierten Gütern erscheinen im Treibhausgasinventar des Herstellerlandes. Die Schweiz weist darum im Vergleich mit anderen Industrienationen relativ geringe Pro-Kopf-Emissionen auf.

Der Einbezug der grauen Energie in die Emissionsberechnung erhöht den Pro-Kopf-Ausstoss beträchtlich (Abb. 16): Im Jahr 1995, für welches vergleichbare Daten verfügbar sind, betrug die gesamte Pro-Kopf-Emission inklusive Importe und Exporte grauer Emissionen aus dem Warenverkehr 9,5 t CO₂, ohne graue Emissionen hingegen nur 5,8 t CO₂ (Jungbluth et al. 2007). In dieser Berechnung wurden lediglich die energiebedingten CO₂-Emissionen quantifiziert. Die Emissionen weiterer Treibhausgase (wie beispielsweise Methan oder Lachgas) und prozessspezifische CO₂-Emissionen (beispielsweise aus Zementwerken und Glashütten) sind nicht inbegriffen. Unter Berücksichtigung der hohen Importquote und des hohen Konsumniveaus bewegt sich die Schweiz bei den Pro-Kopf-Emissionen folglich im Mittelfeld der OECD-Staaten.

Abb. 16 > CO₂-Emissionen pro Kopf im Ländervergleich (Stand 1995).

Pro-Kopf-CO₂-Emissionen verschiedener Länder im Jahr 1995 unter Berücksichtigung grauer Importe und Exporte (die Zahlen berücksichtigen nur die Emissionen aus dem Energieverbrauch, ohne Warentransporte und Emissionen aus dem Flugverkehr).



2 > Entwicklung des Klimas in der Schweiz

Seit 1970 ist die durchschnittliche Temperatur in der Schweiz um $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ angestiegen, das ist rund 1,5-mal schneller als auf der Landoberfläche der Nordhalbkugel. Verschiedene Klimaindikatoren wie Anzahl warme Jahre, Hitzetage, Tropennächte oder auch die Schneebedeckung im Mittelland belegen diesen Trend. Während bei den Gesamt-Niederschlägen keine eindeutige Entwicklung ersichtlich ist, zeigt die Analyse der Starkniederschläge eine steigende Tendenz.

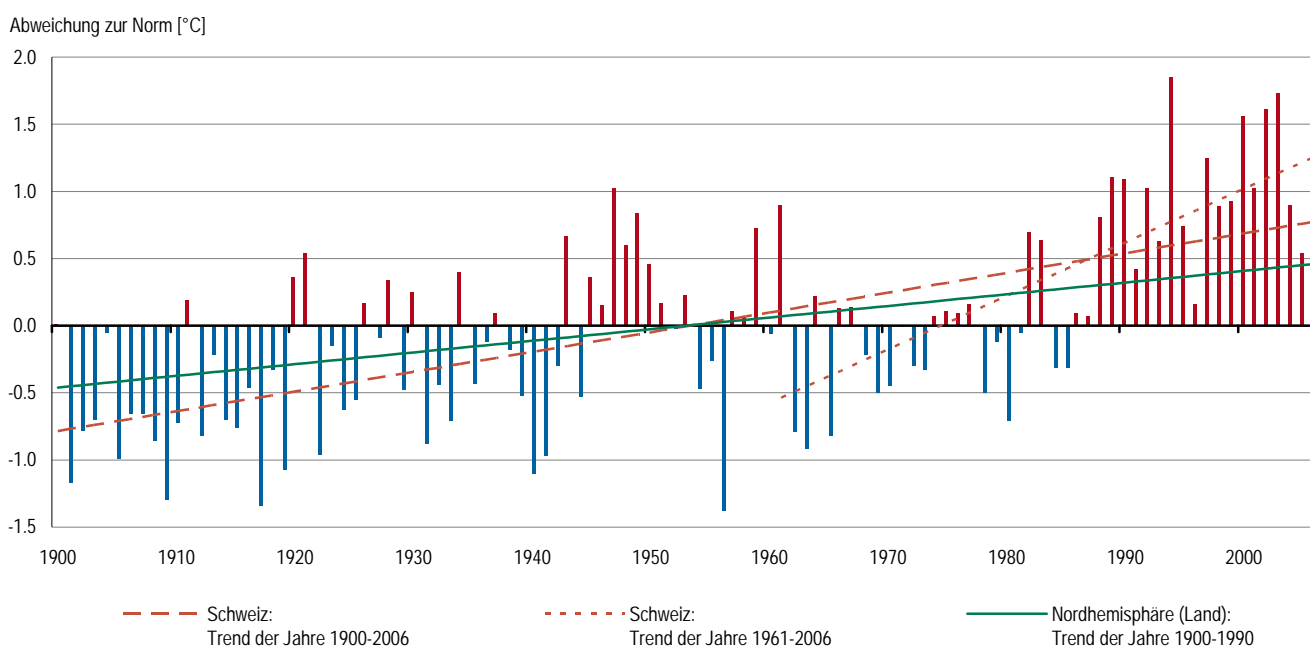
2.1 Entwicklung der Temperatur

Abb. 17 zeigt die Abweichung der mittleren Jahrestemperaturen in der Schweiz seit 1900 relativ zur Norm 1961–1990 (rote und blaue Balken). Die gestrichelten Linien zeigen den Trend für zwei Zeitspannen, 1900–2006 und 1961–2006. Zusätzlich ist der Trend der Temperaturabweichungen auf den Landoberflächen der Nordhalbkugel relativ zur Norm 1961–1990 dargestellt.

In der Schweiz wird die Durchschnittstemperatur der Jahre 1961–1990 als Normwert definiert, mit welchem die Temperatur früherer und späterer Zeitpunkte verglichen wird.

Abb. 17 > Jahresmitteltemperaturen in der Schweiz 1900–2006.

Abweichung der mittleren Jahrestemperatur in der Schweiz 1900–2006 relativ zur Norm 1961–1990; jährliche Abweichungen von der Norm (Balken) und Trendentwicklungen (Linien).

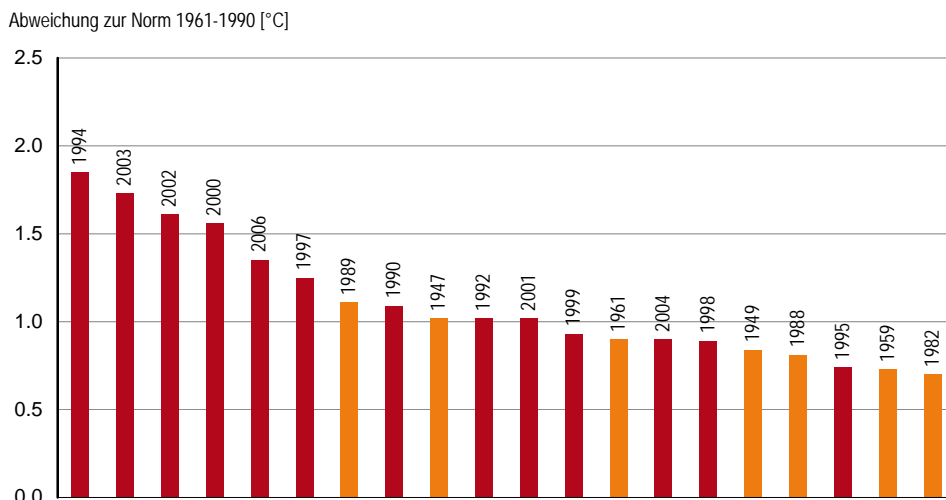


Jahre mit einer mittleren Temperatur höher als der Durchschnitt der Jahre 1961–1990 haben sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts gehäuft. Mit den Jahren wurde auch die Abweichung zur Norm grösser. Dementsprechend verläuft die Entwicklung des Trends: Über den gesamten Zeitraum 1900–2006 haben die mittleren Temperaturen um $1,47^{\circ}\text{C}$ zugenommen. Im Vergleich dazu sind die mittleren Temperaturen auf der Nordhemisphäre um $0,87^{\circ}\text{C}$ angestiegen. Dies zeigt, dass in der Schweiz der Temperaturanstieg deutlich ausgeprägter ausgefallen ist.

Der Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen in der Schweiz fällt noch höher aus, wenn nur Messungen nach 1961 betrachtet werden. In diesem Zeitraum beträgt die Zunahme der mittleren Jahrestemperaturen $0,4^{\circ}\text{C}$ pro Dekade. Seit Anfang der 1980er Jahre waren beinahe alle Jahre deutlich wärmer als der Durchschnittswert der Normperiode 1961–1990. Die Häufung warmer Jahre in jüngster Zeit wird auch durch Abb. 18 belegt: Von den 20 wärmsten Jahren entfallen 13 auf den Zeitraum seit 1990.

Abb. 18 > Die wärmsten Jahre seit 1900.

Rangliste der 20 wärmsten Jahre seit 1900. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Jahrestemperatur zur Norm 1961–1990 in $^{\circ}\text{C}$. Jahre seit 1990 sind rot dargestellt.

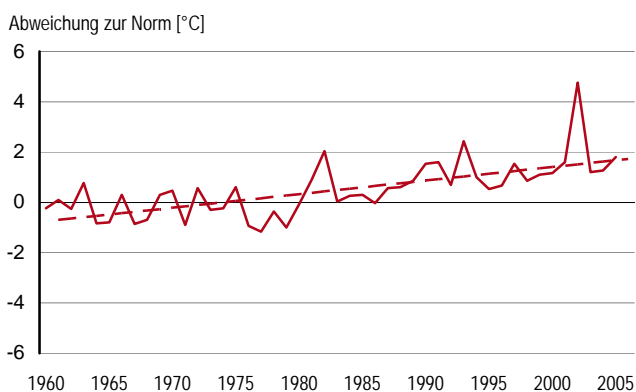


MeteoSchiweiz

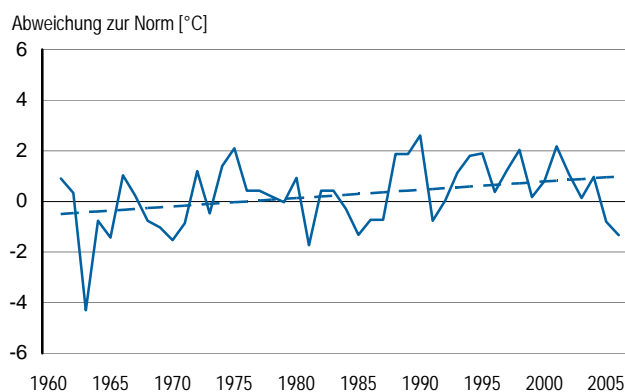
Eine saisonale Betrachtung der Temperaturentwicklung über die letzten rund 50 Jahre (Abb. 19 und Abb. 20) zeigt, dass sich die klimatischen Veränderungen im Sommer stärker als im Winter auswirken ($+0,54^{\circ}\text{C}$ gegenüber $+0,33^{\circ}\text{C}$ pro Dekade). Modellrechnungen zufolge soll sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren fortsetzen und beschleunigen (IPCC 2007a). In der Schweiz wird für das Jahr 2050 ein weiterer Temperaturanstieg um rund 2°C im Winter und knapp 3°C im Sommer gegenüber 1990 erwartet (OcCC/ProClim- 2007).

Abb. 19 > Sommertemperaturen 1961–2006.

Abweichung der mittleren Sommertemperaturen in der Schweiz relativ zur Norm 1961–1990. Dargestellt sind Durchschnittswerte aus 12 verschiedenen Messstationen in verschiedenen Höhenlagen der Nord- und Südschweiz sowie der Trend 1961–2006.

**Abb. 20 > Wintertemperaturen 1961–2006.**

Abweichung der mittleren Wintertemperaturen in der Schweiz relativ zur Norm 1961–1990. Dargestellt sind Durchschnittswerte aus 12 verschiedenen Messstationen in verschiedenen Höhenlagen der Nord- und Südschweiz sowie der Trend 1961–2006.



MeteoSchweiz (2007)

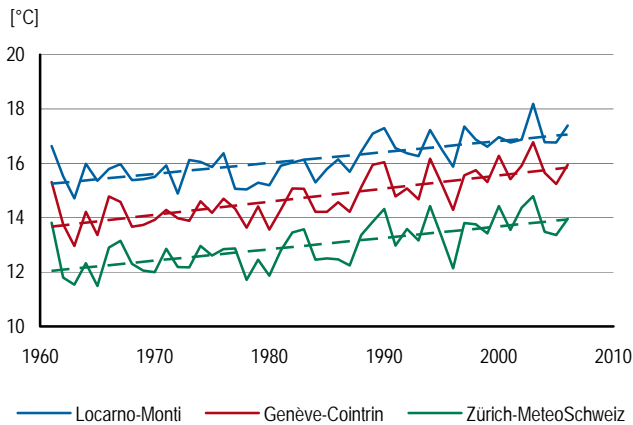
2.2 Tagesmaxima- und Tagesminima-Temperaturen

Die Entwicklung der Tagesmaxima zwischen 1961 und 2006 in Locarno, Genf und Zürich ist in Abb. 21 ersichtlich. Dargestellt sind die Mittelwerte aller Tagesmaxima eines Jahres. Aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen weichen die absoluten Werte der drei Standorte deutlich voneinander ab. Es zeigt sich aber der gleiche Trend: Die Jahresmittelwerte der Tageshöchsttemperaturen sind in den letzten 50 Jahren gestiegen. Die Erhöhung beträgt 0,4 bis 0,5 °C pro Jahrzehnt. Ein ähnliches Muster zeigt die Darstellung der Jahresmittelwerte der Tagesminima (Abb. 22). Hier beträgt die Erhöhung 0,3 bis 0,4 °C pro Jahrzehnt.

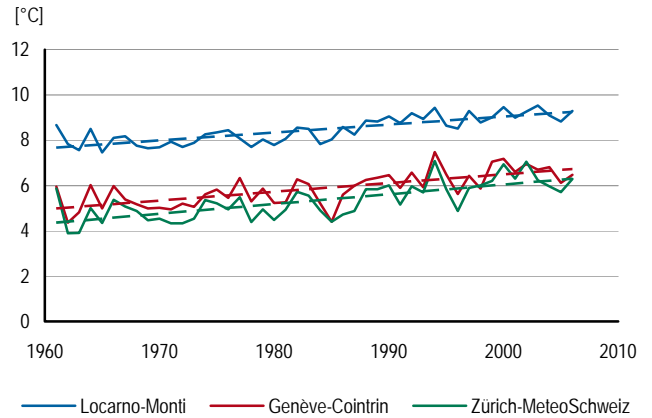
Als Tagesmaximum resp. Tagesminimum gilt die höchste resp. die tiefste Temperatur, die während einer 24 Stunden-Periode erreicht wird.

Abb. 21 > Tagesmaxima zwischen 1961 und 2006.

Jahresmittelwert der Tageshöchsttemperatur gemessen an den Stationen Locarno-Monti, Genève-Cointrin und Zürich-Meteo-Schweiz zwischen 1961 und 2006 sowie der zugehörige Trend.

**Abb. 22 > Tagesminima zwischen 1961 und 2006.**

Jahresmittelwert der Tagesmindesttemperatur gemessen an den Stationen Locarno-Monti, Genève-Cointrin und Zürich-Meteo-Schweiz zwischen 1961 und 2006 sowie der zugehörige Trend.



MeteoSchweiz (2007)

2.3 Hitze- und Frosttage, Tropennächte und Tautage

Die Anzahl Hitzetage hat in den letzten Jahrzehnten klar zugenommen (Abb. 23). Während es im Tessin in den 1960er Jahren im Durchschnitt ein bis zwei Hitzetage pro Jahr gab, sind es jetzt gegen 15, Tendenz steigend. Im Mittelland verläuft die Entwicklung ähnlich: In Zürich und Genf hat sich die mittlere Anzahl Hitzetage innerhalb von 50 Jahren vervierfacht. Der Hitzesommer 2003 ist in dieser Darstellung gut ersichtlich. Gemäss OcCC/ProClim- (2007) werden Sommer mit solchen Verhältnissen bei einer schwachen globalen Erwärmung weiterhin selten bleiben, bei einer starken Erwärmung könnten sie hingegen bis Mitte des 21. Jahrhunderts alle paar Jahre vorkommen.

Im Gegensatz zu den Hitzetagen hat die Anzahl Frosttage seit den sechziger Jahren deutlich abgenommen (Abb. 24). OcCC/ProClim- (2007) geht davon aus, dass sich diese Entwicklung in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen wird.

Als Hitzetage gelten Tage, während denen die Temperaturen über 30 °C steigen. An Frosttagen sinkt die Temperatur unter 0 °C.

Abb. 23 > Hitzetage 1961–2006.

Anzahl Tage pro Jahr mit einer Tageshöchsttemperatur über 30 °C sowie Trend 1961–2006.

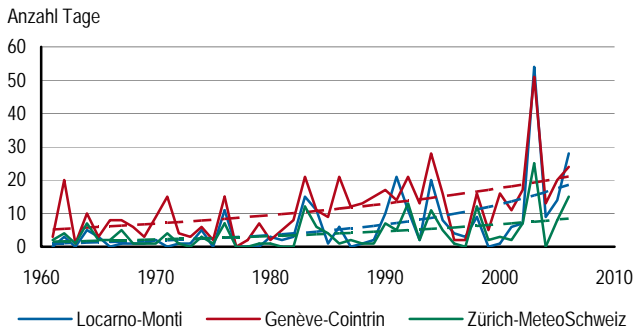
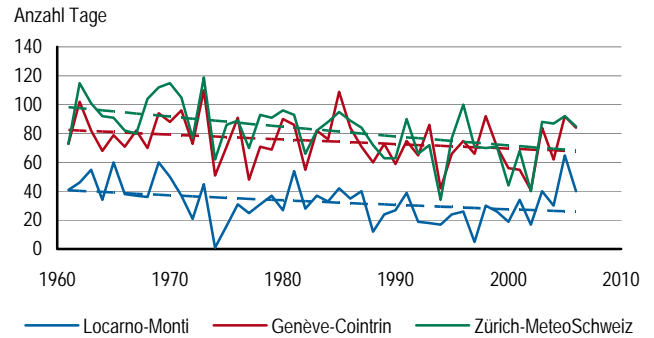


Abb. 24 > Frosttage 1961–2006.

Anzahl Tage pro Jahr mit einer Tagesmindesttemperatur unter 0 °C sowie Trend 1961–2006.



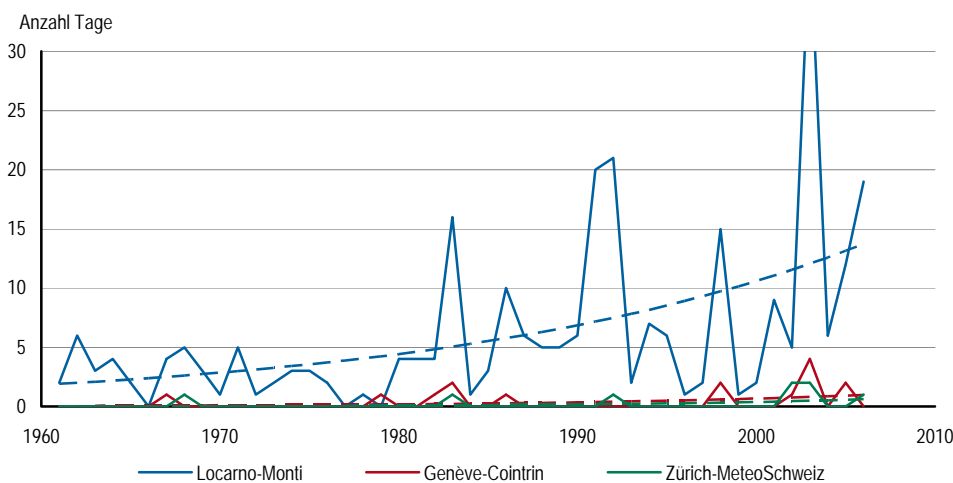
MeteoSchweiz (2007)

Tropennächte (Abb. 25) sind auf der Alpennordseite höchst selten und haben sich seit den sechziger Jahren nur moderat gehäuft. Auf der Alpensüdseite ist im gleichen Zeitraum jedoch eine starke Zunahme der Tropennächte zu verzeichnen, insbesondere seit Beginn der 1980er Jahre. Im Hitzesommer 2003 (siehe dazu auch Kap. 4.4) wurden für die Station Locarno-Monti gar 40 Tropennächte gezählt (ausserhalb der Skala). Tropennächte gelten als besonders belastend für alte oder körperlich geschwächte Personen.

In Tropennächten fallen die Temperaturen nicht unter 20 °C.

Abb. 25 > Tropennächte 1961–2006.

Anzahl Nächte pro Jahr mit Temperaturen über 20 °C, gemessen an den Stationen Locarno-Monti, Genève-Cointrin und Zürich-MeteoSchweiz sowie Trend 1961–2006.



MeteoSchweiz (2007)

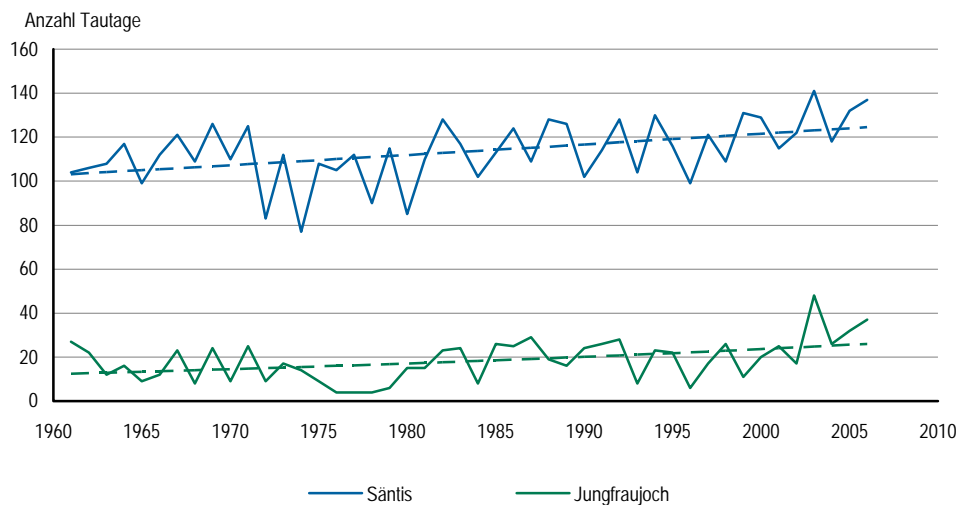
Tautage sind insbesondere in den letzten Jahren ebenfalls häufiger vorgekommen. Eine Zunahme der Anzahl Tautage hat eine Bedeutung insbesondere für hochalpine Gebiete. Aufgrund eines erhöhten Auftaurisikos wird die Stabilität von Permafrostgebieten gefährdet, was zu Steinschlag und Felssturz führen kann (siehe Kap. 3.2). Auch die Verankerung von Anlagen, wie etwa Luftseilbahnen, im Boden wird dadurch vermindert (siehe Kap. 5.2.3.2).

An Tautagen sinkt das
Thermometer nicht unter 0 °C.

Abb. 26 zeigt die Entwicklung der Tautage auf dem Säntis (2502 m.ü.M.) und auf dem Jungfraujoch (3580 m.ü.M.). Die Höhenlagen ab ca. 2500 bis 3000 m.ü.M. gelten als am stärksten betroffen von Auftauprozessen des Permafrosts. Auf dem Säntis ist die Anzahl Tautage innert 45 Jahren von rund 103 auf 124 gestiegen, auf dem Jungfraujoch hat sie sich seit 1961 von rund 12 auf rund 26 Tage pro Jahr verdoppelt.

Abb. 26 > Tautage seit 1961 auf dem Säntis und dem Jungfraujoch.

Anzahl Tage pro Jahr mit einer Tagesmindesttemperatur über 0 °C, gemessen an den Stationen Säntis (2502 m.ü.M.) und Jungfraujoch (3580 m.ü.M.) zwischen 1961 und 2006 sowie der zugehörige Trend.



MeteoSchweiz (2007)

2.4

Starkniederschläge

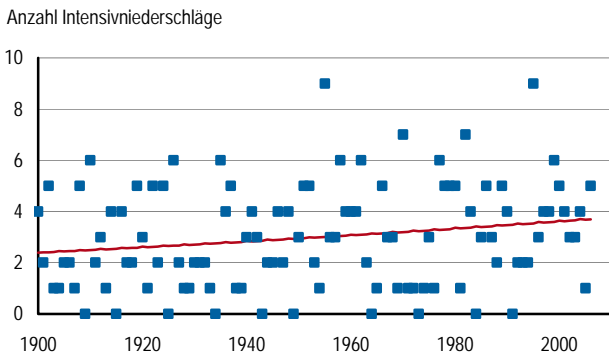
Die Jahresniederschläge in der Schweiz haben im 20. Jahrhundert um rund 120 mm (8%) zugenommen. Diese signifikante Niederschlagszunahme ist vor allem auf die Zunahme der mittleren Winterniederschläge zurückzuführen, welche insbesondere im nördlichen und westlichen Alpenraum um 20-30% angestiegen sind (Schmidli et al., 2002; Bader, Bantle, 2004; Begert et al., 2005). Seit der Jahrtausendwende wird nördlich der Alpen aber wieder ein Rückgang der Winterniederschläge beobachtet. Eine klare Trendaussage zur Entwicklung der Niederschläge seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist darum nicht mehr möglich.

Hingegen zeigt sich, dass die Häufigkeit von intensiven Niederschlägen seit 1900 in der Schweiz fast überall zugenommen hat (Schmidli und Frei 2005). Abb. 27 bis Abb. 30 zeigen beispielhaft die Resultate für die Messstation Zürich für alle vier Jahreszeiten. Im Winter und im Herbst sind die Zunahmen für viele Stationen nördlich des Alpen-Hauptkamms statistisch signifikant. In diesen Regionen und Jahreszeiten hat die Häufigkeit zwischen 15 und 70 % zugenommen. Im Frühling und Sommer sowie im Süden wurden hingegen keine signifikanten Änderungen festgestellt. Ob die beobachteten Veränderungen bereits eine Folge der anthropogenen Klimaänderung sind, kann nicht abschliessend beantwortet werden. Auf dem heutigen Wissensstand ist dies aber eine physikalisch plausible These.

An Tagen mit «intensivem Niederschlag» erreicht die Niederschlagssumme einen Wert, der im langjährigen Durchschnitt einmal pro 30 Tage überschritten wird.

Abb. 27 > Intensive Niederschläge Winter.

Anzahl Tage mit Starkniederschlägen im Winter in Zürich (blau) und geschätzter Trend (rot).



MeteoSchweiz (2007), Schmidli and Frei (2005)

Abb. 28 > Intensive Niederschläge Frühling.

Anzahl Tage mit Starkniederschlägen im Frühling in Zürich (blau) und geschätzter Trend (rot).

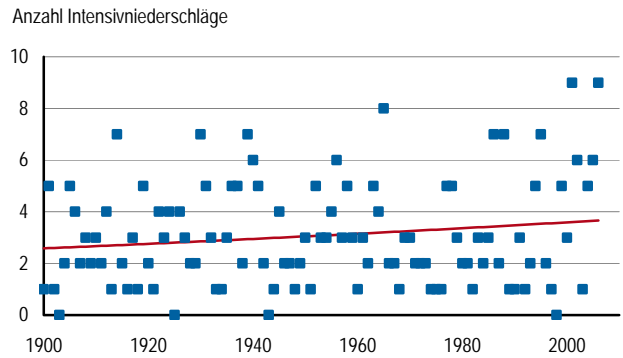
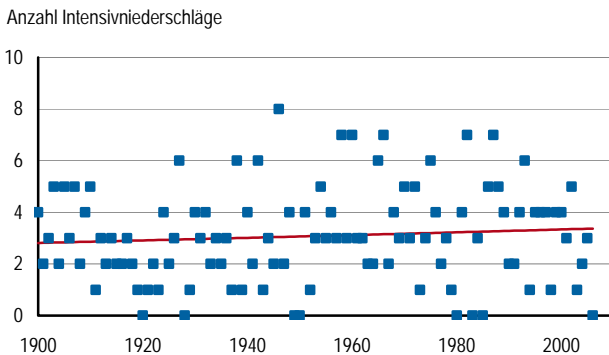


Abb. 29 > Intensive Niederschläge Sommer.

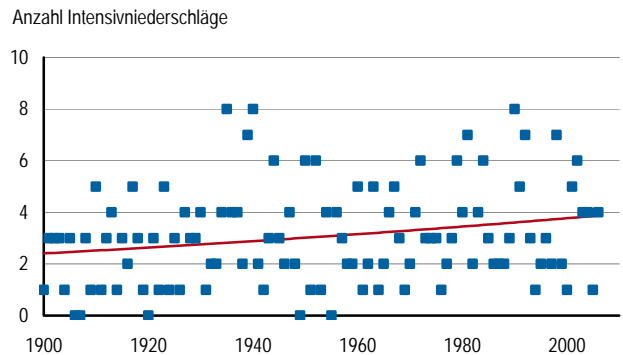
Anzahl Tage mit Starkniederschlägen im Sommer in Zürich (blau) und geschätzter Trend (rot).



MeteoSchweiz (2007), Schmidli and Frei (2005)

Abb. 30 > Intensive Niederschläge Herbst.

Anzahl Tage mit Starkniederschlägen im Herbst in Zürich (blau) und geschätzter Trend (rot).



2.5 Schneebedeckung im Mittelland und in den Voralpen

Als weitere Folge der Erhöhung der Temperaturen ist die Nullgradgrenze in den letzten 50 Jahren in den Wintermonaten (Dezember, Januar und Februar) um 67 m pro Jahrzehnt gestiegen (Scherrer et al. 2004). Schneemengen und Schneehäufigkeit im Mittelland und in den Voralpen nehmen dementsprechend seit den 1960er Jahren ab (Abb. 31 und Abb. 32).

Die mittlere Schneehöhe – berechnet als Durchschnittswert aller Tage mit Schneebedeckung – liegt heute in Bern und Zürich bei ungefähr 1 cm pro Jahr. Generell sinkt die Zahl der Tage, an welchen es schneit. Auch in den Voralpen, wie z. B. in Einsiedeln (882 m.ü.M.), ist die Abnahme deutlich. Es gibt an diesem Ort heute pro Winterhalbjahr 20 Tage weniger mit Schnee als noch vor 50 Jahren.

Abb. 31 > Schneehöhe 1961–2006.

Mittlere jährliche Schneehöhe (berechnet nur aus den Tagen mit Schnee), gemessen an den Stationen Bern-Liebefeld/Zollikofen, Einsiedeln und Zürich-MeteoSchweiz zwischen 1961 und 2006 sowie der zugehörige Trend.

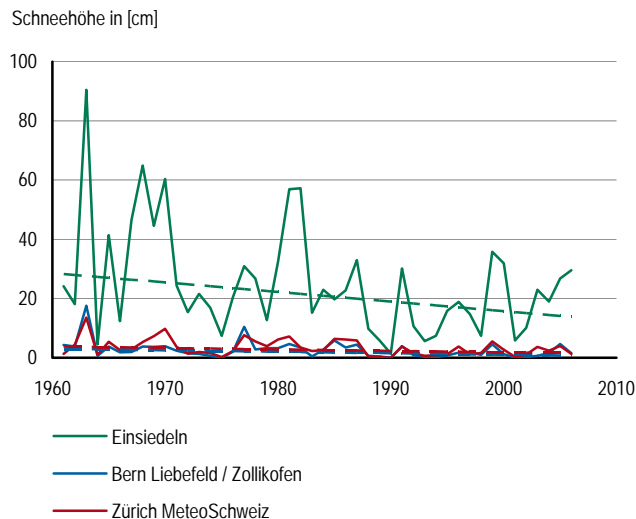
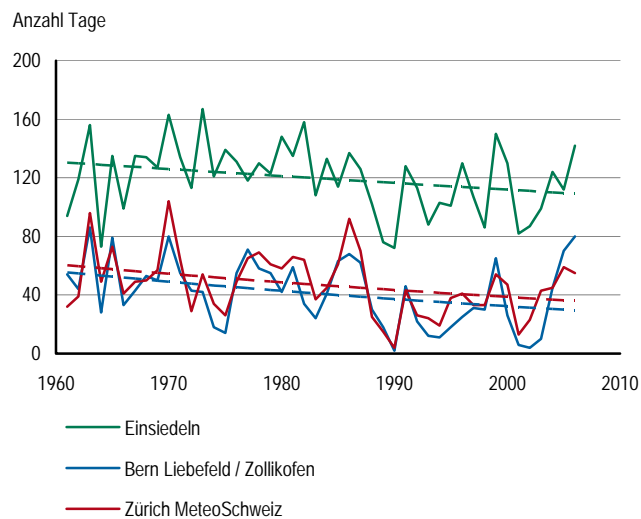


Abb. 32 > Tage mit Schnee 1961–2006.

Anzahl Tage mit Schneebedeckung gemessen an den Stationen Bern-Liebefeld/Zollikofen, Einsiedeln und Zürich-MeteoSchweiz zwischen 1961 und 2006 sowie der zugehörige Trend.



MeteoSchweiz (2007)

Temperaturerhöhung und die damit verbundene geringere Schneesicherheit stellen für Gebiete in den Voralpen, für welche der Wintertourismus bedeutsam ist, wie z. B. die Region Einsiedeln, eine grosse Herausforderung dar. Bis ins Jahr 2050 dürfte die Schneegrenze um bis zu 350 m ansteigen (OcCC 2007). Für Wintersportorte unter ca. 1500 m.ü.M. wird es unter diesen Voraussetzungen schwierig, den Skibetrieb sicherzustellen (vgl. auch Kapitel 4.2 zur Schneesicherheit in Wintersportgebieten).

3 > Auswirkungen Naturraum

Zahlreiche Indikatoren machen die Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Naturraum in der Schweiz sichtbar: Beispielfhaft werden im Folgenden der zunehmende Gletscherschwund, die wärmeren Fliessgewässer, der Populationsrückgang der Bachforelle, die abnehmende Eisbedeckung der Seen, die frühzeitigere Kirschbaumblüte oder die Einbürgerung und Ausbreitung südostasiatischer Hanfpalmen in der Südschweiz dargestellt.

3.1 Gletschermassenbilanz und Gletscherlängenänderung

Die durch den Klimawandel verursachte Erhöhung der Durchschnittstemperatur führt zu einem Rückgang der Gletscher in fast allen Gebieten der Erde – von den Tropen über die mittleren Breiten bis nach Patagonien, Grönland und Alaska. Auch die Gletscher in der Schweiz werden kürzer und dünner.

Das Eis der Gletscher in den Alpen befindet sich im Sommer am Druckschmelzpunkt, d.h. an der Oberfläche hat es immer 0°C. Deshalb reagieren die Gletscher äusserst sensibel auf anhaltende Temperaturänderungen. Schon eine anhaltende Temperaturerhöhung von einem Zehntel Grad während zehn Jahren kann einen Rückgang der Gletscherzungen um mehrere hundert Meter bewirken. Aus diesem Grund gehören Gebirgsgletscher in der globalen Umweltbeobachtung zu den aussagekräftigsten Klimaindikatoren (Haeberli et al. 2000).

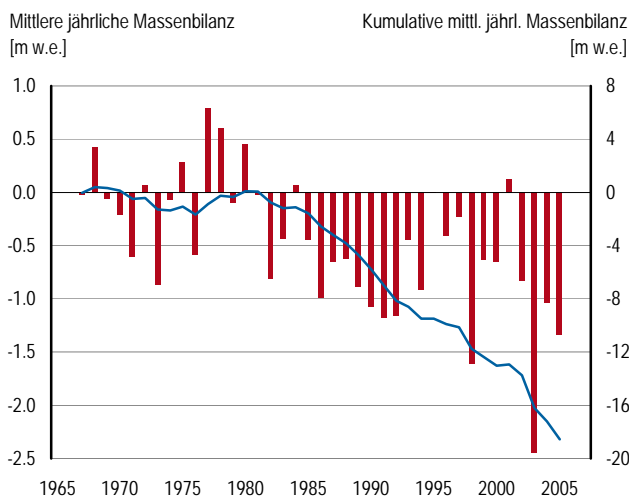
Gebirgsgletscher gehören in der globalen Umweltbeobachtung zu den aussagekräftigsten Klimaindikatoren.

Die Volumen- bzw. Massenänderung eines Gletschers ist ein besonders verlässliches Signal für Veränderungen der Klimabedingungen. Abb. 33 zeigt den gemittelten Massenbilanzmesswert für neun Alpengletscher in der Zeit zwischen 1965 und 2005. Zwischen 1965 und 1980 waren die jährlichen Veränderungen noch ungefähr ausgeglichen: Jahre mit Gletscher-Volumenverlust standen Jahren mit Volumenzunahme gegenüber. Seit Mitte der 1980er Jahre zeichnet sich jedoch ein klarer Trend zum kontinuierlichen und sogar beschleunigten Massenverlust ab. Dieser liegt gemittelt über die Gesamtfläche der Gletscher in der Grössenordnung von jährlich 0,5 m bis 1 m Wasseräquivalent⁷, im Jahr 2003 mit dem Hitzesommer sogar 2,5 m. Werden die Verluste Jahr für Jahr addiert, ergibt sich zwischen 1980 und 2005 ein kumulativer Verlust von knapp 20 m Wasseräquivalent.

⁷ Die Massenbilanz von Gletschern wird in Wasseräquivalent ausgedrückt. Das Wasseräquivalent gibt in der Masseinheit Millimeter bzw. Meter an, welchen Wassergehalt der geschmolzene oder neu dazugekommene Eiskörper hat (1 mm entspricht 1 Liter Schmelzwasser pro Quadratmeter). Dabei wird berücksichtigt, dass die Dichte von Eis und Firn von Ort zu Ort und mit der Tiefe variieren kann, im gleichen Volumen also unterschiedliche Mengen an Wasser gespeichert sein können.

Abb. 33 > Mittlere Massenbilanz alpiner Gletscher von 1967 bis 2005.

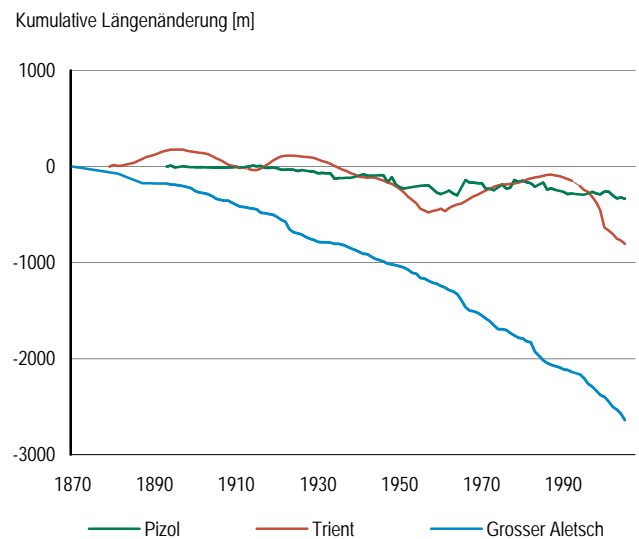
Jährliche (Säulen) und kumulative (Linie) Massenbilanz von neun Alpengletschern: Saint Sorlin (F), Sarennes (F), Silvretta (CH), Gries (CH), Sonnblickkees (A), Vernagtferner (A), Kesselwandferner (A) Hintereisferner (A) und Careser (I). Einheit: Meter Wasseräquivalent (m w.e.).



WGMS (2007)

Abb. 34 > Kumulative Längenänderung dreier Gletscher von 1879 bis 2005.

Kumulative jährliche Längenänderung der Gletscher Pizol (0,21 km², 0,6 km Länge im Jahr 1973), Trient (6,4 km², 4,9 km Länge im Jahr 1973) und Grosser Aletsch (86,63 km², 24 km Länge im Jahr 1973).



Die Längenänderung eines Gletschers (Vorstoss oder Rückzug der Gletscherzunge) hängt unter anderem von seiner Grösse ab (Abb. 34): Kleine Gletscher (z. B. Pizol) reagieren rasch auf die jährliche Witterung, grössere Gebirgsgletscher (z. B. Trient) mit verzögerten aber deutlichen Schwankungen der Gletscherzunge (im Jahrzehntebereich). Grosse Talgletscher reagieren noch langsamer respektive mit einer Verzögerung von mehreren Jahrzehnten (Hoelzle et al. 2000, Zemp et al. 2007). Im Fall des Grossen Aletschgletschers wurde ein kontinuierlicher Rückzug der Zunge von fast 3 km seit 1870 beobachtet.

Der beobachtete Gletscherschwund in den Alpen stimmt gut mit dem Trend zu höheren Durchschnittstemperaturen überein (Zemp et al. 2007). Ausnahmen im Trend lassen sich mit dem Witterungsverlauf gut erklären (reduzierte Sonnenscheindauer, höhere Winterniederschläge). In den kommenden Jahren werden sich die Alpengletscher unabhängig von der Temperaturentwicklung weiter zurückbilden: Ihre aktuelle Ausdehnung entspricht noch nicht dem herrschenden Klima, d.h. es ist noch kein Gleichgewichtszustand erreicht (Zemp et al. 2006). Sollten die Temperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter ansteigen (vgl. IPCC 2007a), so muss in vielen Regionen der Alpen mit einem weiteren, oder gar dem totalen Gletscherschwund gerechnet werden (Zemp et al. 2006).

3.2 Temperaturvariationen im Permafrost

Permafrost kommt überall dort vor, wo die Temperatur im Untergrund das ganze Jahr hindurch unter 0 °C liegt. Grosse Permafrostvorkommen befinden sich in den arktischen und antarktischen Gebieten, aber auch in Hochgebirgsregionen wie den Alpen sind viele Schutthalden, Felswände und Böden dauernd gefroren. In der Schweiz sind ca. 5–6 % der Fläche von Permafrost betroffen. Die Permafrostmächtigkeit reicht in den Alpen von wenigen bis zu mehreren hundert Metern.

Von Permafrost spricht man, wenn der Untergrund ab einer gewissen Tiefe das ganze Jahr hindurch gefroren ist.

Permafrost reagiert auf Änderungen der Energiebilanz an der Oberfläche. Die winterliche Schneedecke beeinflusst die Entwicklung der Untergrundtemperatur stark, da sie eine isolierende Wirkung hat. Schneearme Winter, wie zum Beispiel der Winter 2001/2002, sind deutlich kälter als schneereiche Winter wie 2000/2001. Wenn im Sommer der Boden schneefrei ist, taut die oberste Schicht in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der Strahlungsintensität an der Oberfläche auf. Die Mächtigkeit dieser sogenannten Auftauschicht ist ein direktes Klimasignal (PERMOS 2005). In Abb. 35 ist die maximale Tiefe der Auftauschicht des Blockgletschers⁸ Murtèl-Corvatsch im Oberengadin von 1987 bis 2006 dargestellt. Die Zeitreihe zeigt einen Trend zu grösserer Mächtigkeit der Auftauschicht mit Maximalwerten in den Jahren 2002–2006. An anderen Standorten wie zum Beispiel in Lapires (Val de Nendaz, VS) oder am Schilthorn (BE) sind die Auftautiefen stärker variabel, da dort der Eisgehalt im Boden viel kleiner ist als beim Blockgletscher Murtèl-Corvatsch, wo das massive Eis im Untergrund eine stark dämpfende Wirkung auf die Auftautiefe hat.

Abb. 35 > Auftauschicht von 1987 bis 2006.

Tiefe der maximalen Auftauschicht des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch für die Jahre 1987–2006.

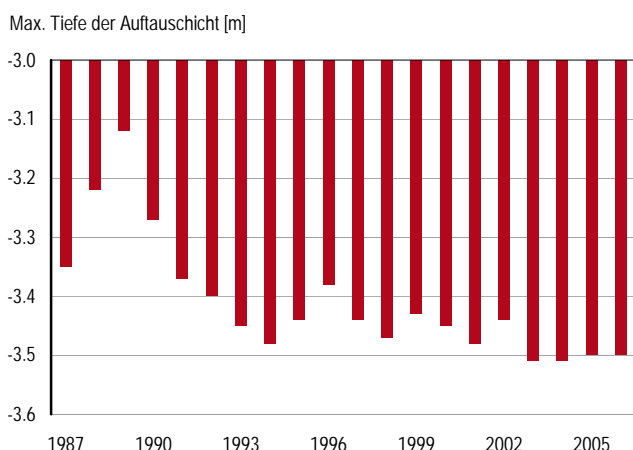
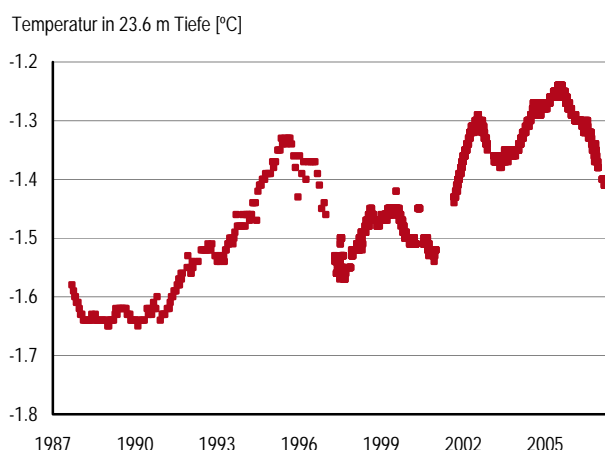


Abb. 36 > Permafrost-Temperatur von 1987 bis 2007.

Permafrost-Temperatur gemessen in 23,6 m Tiefe des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch (Bohrloch).



Permafrost Monitoring Switzerland (2007)

⁸ Blockgletscher sind eine spezielle Form von Permafrost (loser, kriechfähiger Schuttkörper, dessen Hohlräume mit Eis gefüllt sind).

Für denselben Blockgletscher Murtèl-Corvatsch ist in Abb. 36 die Entwicklung der Temperatur in einer Tiefe von 23,6 m aufgetragen. Der Verlauf zeigt, dass in dieser Tiefe die Temperatur zwar Schwankungen unterworfen ist, dass in der 20-jährigen Beobachtungsreihe dennoch ein klarer Trend zu höheren Temperaturen erkennbar ist. Die hohen Temperaturwerte Mitte der 1990er Jahre lassen sich durch starken Schneefall im Herbst erklären (der Schnee isoliert den Untergrund gegen die tiefen Wintertemperaturen). Umgekehrt zeichneten sich die Winter 2003–2005 durch wenig herbstlichen Schneefall aus, wodurch der Untergrund aufgrund der fehlenden Isolation auskühlte. Schneefall im Frühling verstärkte den kühlenden Effekt zusätzlich, weil der späte Schnee in dieser Situation gegen die ansteigenden Temperaturen isolierte (PERMOS 2005).

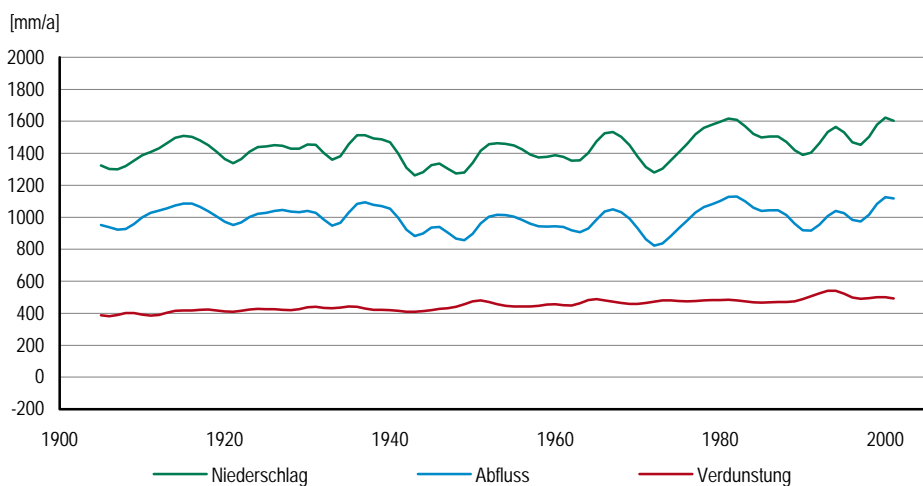
3.3 Wasserhaushalt

Abb. 37 zeigt die Parameter des Wasserhaushalts für die Schweiz in der Zeit zwischen 1901 und 2005. Die Gebietsniederschläge wurden mit Hilfe von 303 Niederschlagsmessreihen berechnet (MeteoSchweiz). Die Abflussdaten stammen aus Messdaten des BAFU (BAFU 2007c). Die Verdunstung wurde als Differenz aus der Wasserbilanz (inkl. Seen, Stauseen, Ableitungen, Gletscher etc.) berechnet.

Der Wasserhaushalt wird durch Niederschlag, Abfluss und Verdunstung bestimmt.

Abb. 37 > Wasserhaushalt der Schweiz von 1901 bis 2005.

*Niederschlag, Abfluss und Verdunstung der Schweiz
(gleitende Mittelwerte über neun Jahre berechnet).*



BAFU 2007c

Im Niederschlag zeigt sich ein schwacher, zunehmender Trend (pro 100 Jahre nimmt der Niederschlag um 113 mm zu), der wegen grosser Variabilität jedoch nicht signifikant ist. Weil auch die Verdunstung fast denselben Trend aufweist (pro 100 Jahre nimmt sie um 99 mm zu), bleibt der Abfluss über die letzten 100 Jahre praktisch

unverändert. Die Gletscherschmelze beeinflusst den jahreszeitlichen Abfluss auf lokaler Ebene; für den Wasserhaushalt der ganzen Schweiz ist er aber von untergeordneter Bedeutung und deshalb in der Abbildung nicht eingetragen.

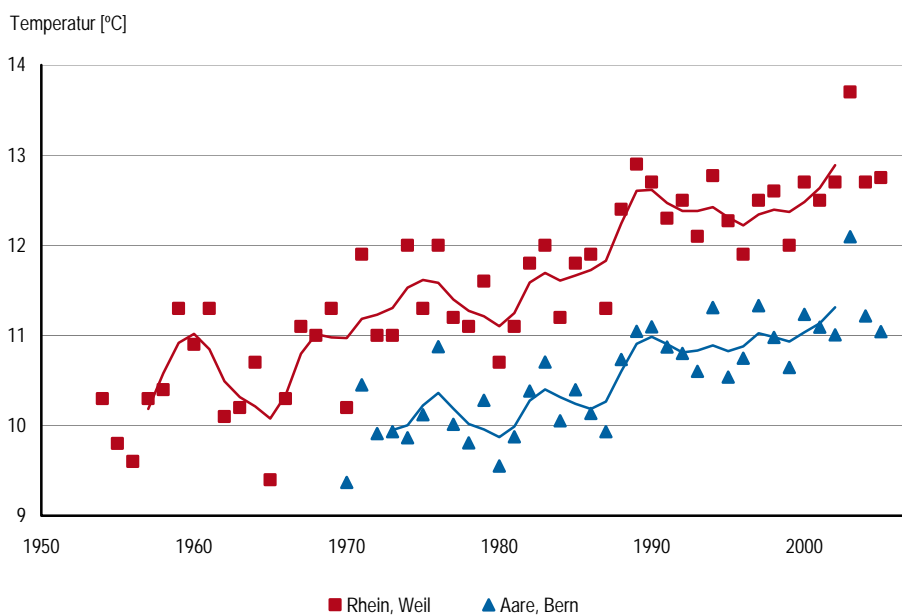
3.4 Wassertemperatur von Fliessgewässern

Die Wassertemperaturen von sämtlichen grösseren Fliessgewässern in der Schweiz zeigen seit den 1960er Jahren einen deutlich steigenden Trend. Bei Flüssen im Mittelland ist die Temperaturzunahme ausgeprägter als bei Alpenflüssen (Jakob et al. 2007). Der Anstieg der Wassertemperatur verläuft parallel zum Anstieg der mittleren Lufttemperatur. Abb. 38 zeigt Messwerte des Rheins (Weil, Nähe Basel) und der Aare bei Bern.

Die Fliessgewässer der Schweiz haben sich in den letzten Jahrzehnten deutlich erwärmt.

Abb. 38 > Wassertemperatur zweier Fliessgewässer.

Jahresmittelwerte (Symbole) und gleitende 7-Jahresmittel (Linie) der Wassertemperatur des Rheins bei Weil (seit 1954) und der Aare bei Bern (seit 1970).

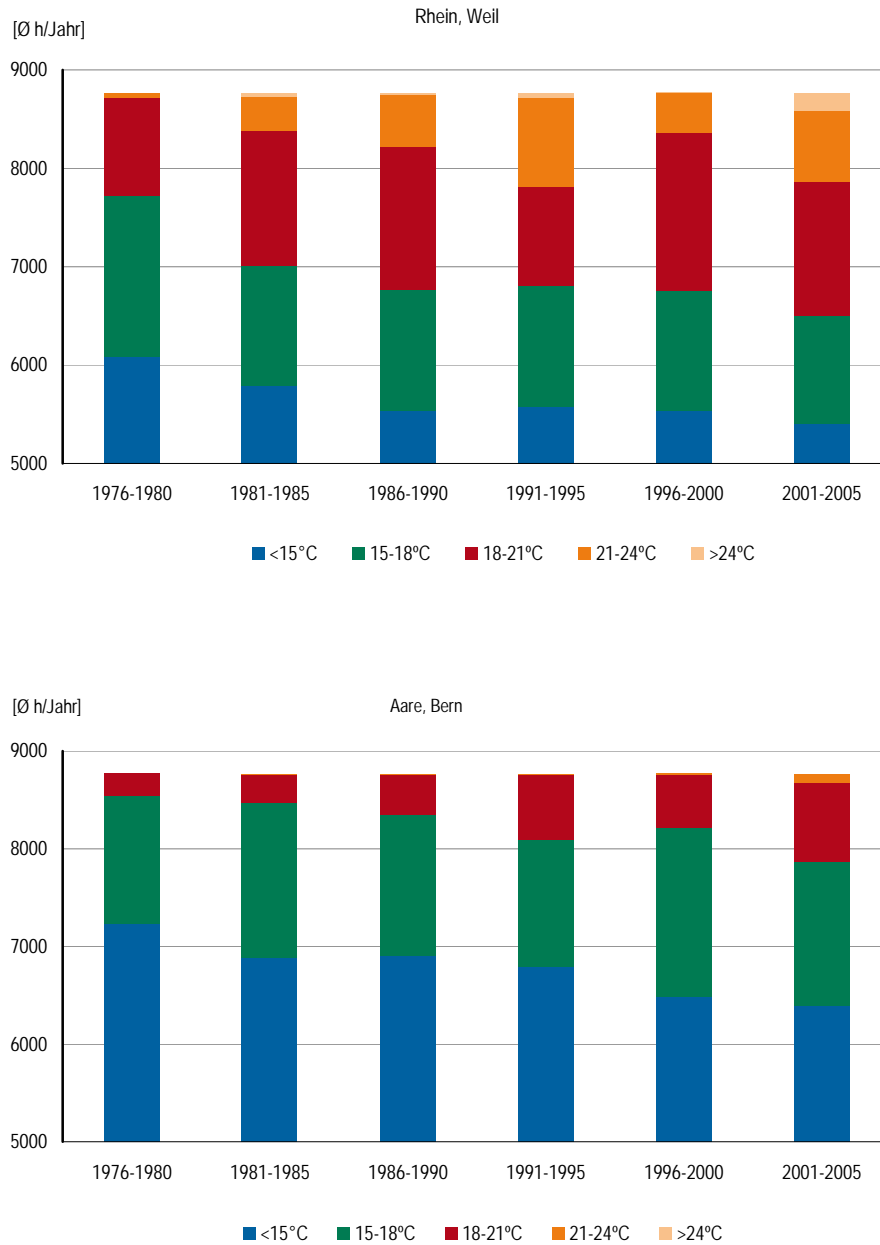


BAFU (2007c)

Wassertemperaturmessungen belegen, dass die Flüsse nicht nur durchschnittlich wärmer werden, sondern dass sie auch über eine längere Zeit im Jahr eine erhöhte Temperatur aufweisen. Die Anzahl Stunden pro Jahr mit Wassertemperaturen zwischen 15–18 °C nehmen in Fliessgewässern im Mittelland tendenziell ab, während die Anzahl Stunden mit Temperaturen über 18 °C deutlich zunehmen. Dieser Trend ist in allen grösseren Fliessgewässern des Mittellandes zu beobachten (Jakob et al. 2007). Abb. 39 zeigt Messwerte für Rhein und Aare.

Abb. 39 > Anzahl Stunden nach Temperaturklassen von 1976 bis 2005.

Anzahl Stunden pro Jahr je Temperaturklasse des Rheins bei Weil und der Aare bei Bern
(5-Jahresmittelwerte).



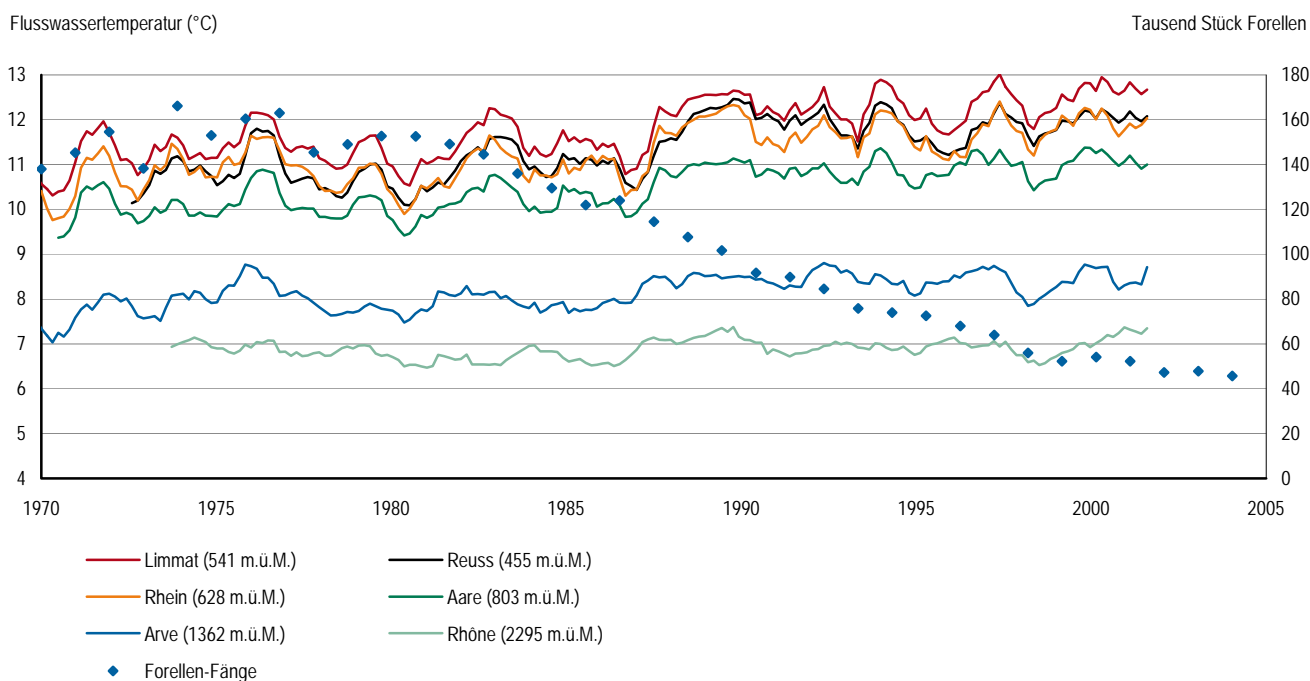
BAFU (2007c)

3.5 Bestand an Bachforellen

Die Bachforelle ist für die Freizeitanglerei in der Schweiz der bedeutendste Fisch. In den letzten 25 Jahren ist in der schweizerischen Fischereistatistik eine starke Abnahme der Bachforellenfänge festzustellen, insbesondere in tieferen Lagen. Gleichzeitig zeigen die Messdaten von Hari et al. (2006) für alle Höhenstufen von alpinen und voralpinen Fließgewässern eine Zunahme der Wassertemperatur (Abb. 40). In tieferen Lagen ist diese am stärksten ausgeprägt.

Abb. 40 > Bachforellenfänge und Wassertemperaturen.

Jahresmittelwerte der Wassertemperatur von sechs Schweizer Fließgewässern von 1969 bis 2002 und Bachforellenfänge in der Schweiz von 1970 bis 2005. Die Höhenangaben bezeichnen die durchschnittliche Höhenlage des Wassereinzugsgebiets. Die Angaben zu den Bachforellenfängen von 1971 bis 2001 sind rekonstruiert aus den obligatorischen Anglerstatistiken.



Nach Hari et al. 2006; Hydrologische Daten: BAFU (in press); Statistik Forellenfänge: FISTAT, BAFU

Obwohl Fischfänge von verschiedenen Variablen abhängig sind, ist zumindest ein Teil der festgestellten Fangrückgänge der Bachforelle in der Schweiz auf einen Populationsrückgang zurückzuführen. Steigende Wassertemperaturen haben negative Folgen für die Population.

- > Für Fortpflanzung und Wachstum ist die Bachforelle auf kühles Wasser angewiesen. Steigende Wassertemperaturen führen zu einer Fischwanderung in höher gelegene Flussabschnitte, die aber in den Voralpen und Alpen durch natürliche oder künstli-

che Barrieren unterbrochen wird⁹. Auf diese Weise wird der Lebensraum der Bachforelle verkleinert.

- > Höhere Wassertemperaturen führen zu einer Zunahme des Auftretens der Nierenkrankheit (Proliferative Kidney Disease, PKD). Betroffen sind Forellen in den tieferen Lagen¹⁰.
- > Wiederholte extrem hohe Sommertemperaturen führen zum Absterben empfindlicher Fischbestände, wie beispielsweise die Äschen-Population¹¹ im Rhein unterhalb des Bodensees im Hitzesommer 2003.

3.6 Eisbedeckung von Seen im Mittelland

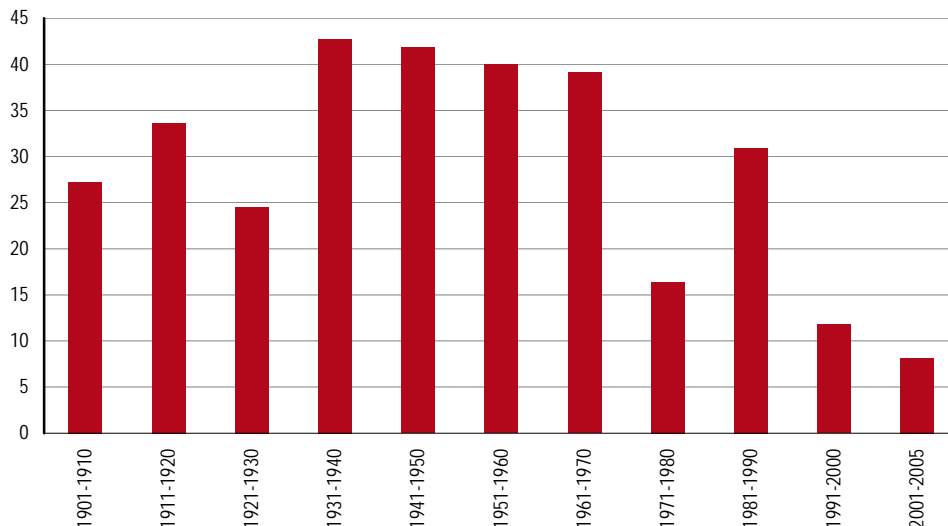
Ob die Seen im Mittelland im Winter zufrieren und wie lange die Eisbedeckung anhält, hängt primär von der Lufttemperatur ab. Je kälter und je länger ein Winter ist, umso eher frieren die Seen zu und umso länger dauert die Phase der Eisbedeckung. Die Wintertemperaturen waren bis 1930 nicht sehr tief. Daher zeigt sich bei den Mittelwerten aus elf Seen (10-Jahresmittel) erst ab den 1940er Jahren ein genereller Trend zu seltenerer Eisbedeckung (Abb. 41).

Eine «Seegfrömi» ist bei den grossen Seen im Mittelland sehr selten. Im 20. Jahrhundert war z. B. der Zürichsee nur 1907, 1929 und 1963 gefroren.

Abb. 41 > Eisbedeckung Schweizer Seen von 1901 bis 2005.

Durchschnittlicher Anteil eisbedeckter Seen (10-Jahresmittelwert, in Prozent). Es wurden folgende Seen im Mittelland berücksichtigt: Aegerisee, Baldeggersee, Bielersee, Greifensee, Hallwilersee, Murtensee, Obersee (ZH), Pfäffikersee, Sarnersee, Sempachersee, Untersee (TG).

Anteil gefrorene Seen pro Jahr [%]



Franssen und Scherrer (in press)

⁹ Im Durchschnitt existieren in Schweizer Flüssen alle 100 Meter 1–2 Barrieren mit einer Höhe von mindestens 15cm (Peter, 1998).

¹⁰ Die Krankheit PKD ruft hohe Mortalitätsraten bei Forellenfischen hervor. Die Krankheit wird durch einen einzelligen Parasiten verursacht. Die heutige Vorkommensgrenze der PKD liegt bei 800 m.ü.M.

¹¹ Die Äsche gehört mit der Bachforelle zur Familie der Forellenfische (Salmoniden).

Die Statistik zählt die Eisbedeckung eines Sees nur dann, wenn er vollständig während mindestens zweier aufeinander folgender Tage je Winter von einer Eisfläche bedeckt ist (Franssen und Scherrer, in press).

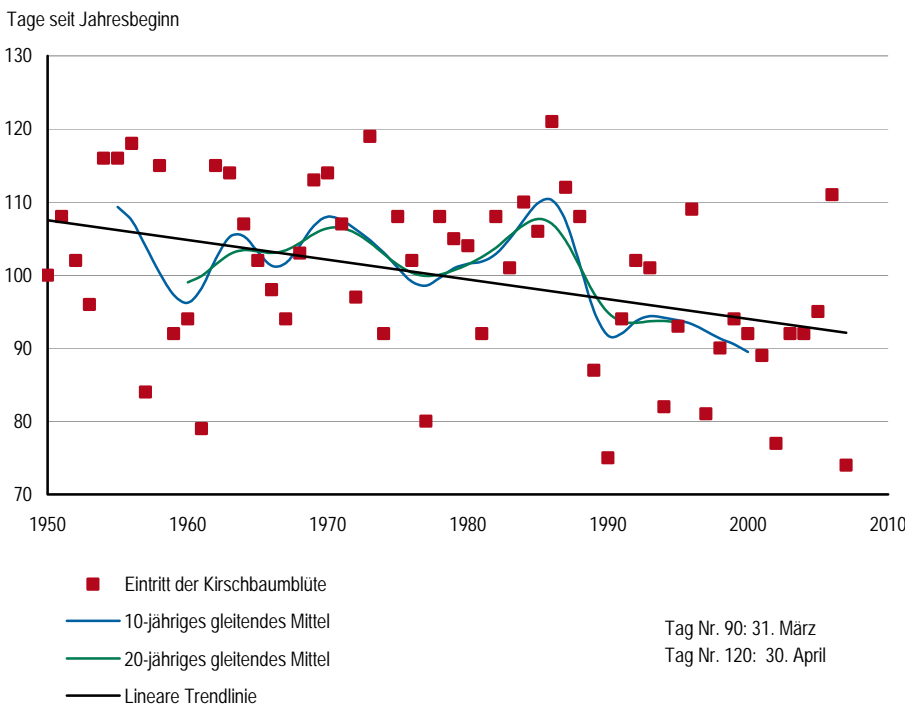
3.7 Blütezeit der Kirschbäume in Liestal

Die jahreszeitliche Entwicklung zahlreicher Pflanzen und Tiere wird durch den Klimawandel beeinflusst. MeteoSchweiz (2005) befasst sich im Rahmen des phänologischen¹² Beobachtungsnetzes seit 1951 mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Pflanzen. Phänologische Eintrittstermine von Pflanzen wie die Blütezeit oder Blattentfaltung im Frühjahr werden stark von der Lufttemperatur beeinflusst. Aus diesem Grund sind phänologische Daten gute Indikatoren für die lokalen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Vegetation. Untersuchungen von Kirschbäumen in Liestal zeigen, dass die Kirschbaumblüte in den letzten 20 Jahren früher eintrat, als dies bis Mitte der 1980er Jahre der Fall war (Abb. 42).

Die Phänologie liefert gute Indizien für lokale Auswirkungen der Klimaänderung.

Abb. 42 > Beginn der Blütezeit der Kirschbäume in Liestal 1950–2007.

Die Eintrittszeit der Blüte der Kirschbäume von Liestal variiert jedes Jahr beträchtlich. Im langjährigen Trend (1950–2007) zeigt sich aber eine Verfrühung.



MeteoSchweiz (2005)

¹² Die Phänologie befasst sich mit wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur. Wann Kirschen blühen, der Holunder reift, die Rosskastanie ihr Laub verfärbt usw. wird in einem phänologischen Kalender festgehalten.

Obwohl die jährliche Entwicklung der Pflanzen von verschiedenen Umweltfaktoren wie beispielsweise den Wetterverhältnissen abhängig ist, kann im langjährigen Trend eine Vorverschiebung der Blütezeit der Kirschbäume um 15 bis 20 Tage erkannt werden. Dadurch entsteht ein aussagekräftiges Bild der in Liestal veränderten Klimaeinflüsse. Die Erhebungen der MeteoSchweiz (2005) zeigen bei verschiedenen Pflanzenarten in der gesamten Schweiz eine Tendenz zur Verfrühung der phänologischen Frühlingsphasen.

3.8 Ausbreitung der Hanfpalme in der Südschweiz

Die Hanfpalme stammt ursprünglich aus dem Gebiet Nord-Indien, Nord-Thailand und China. Ihre nördliche Verbreitungsgrenze ist massgeblich durch Wintertiefsttemperaturen bedingt (Walther et al. 2007). Für eine Ausbreitung der Hanfpalme in der Schweiz sind vermehrt auftretende milde Wintertage ohne Frost entscheidend. Während in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts im Südtessin durchschnittlich 75 Frosttage pro Winterhalbjahr auftraten, verringerte sich dieser Wert seit den 1970er Jahren um mehr als die Hälfte auf ca. 30 Frosttage pro Jahr (Walther et al. 2002). Dadurch sind die Verbreitungsbedingungen für die Hanfpalme günstiger geworden. Die Beobachtungen bestätigen eine zunehmende Verbreitung hierzulande.

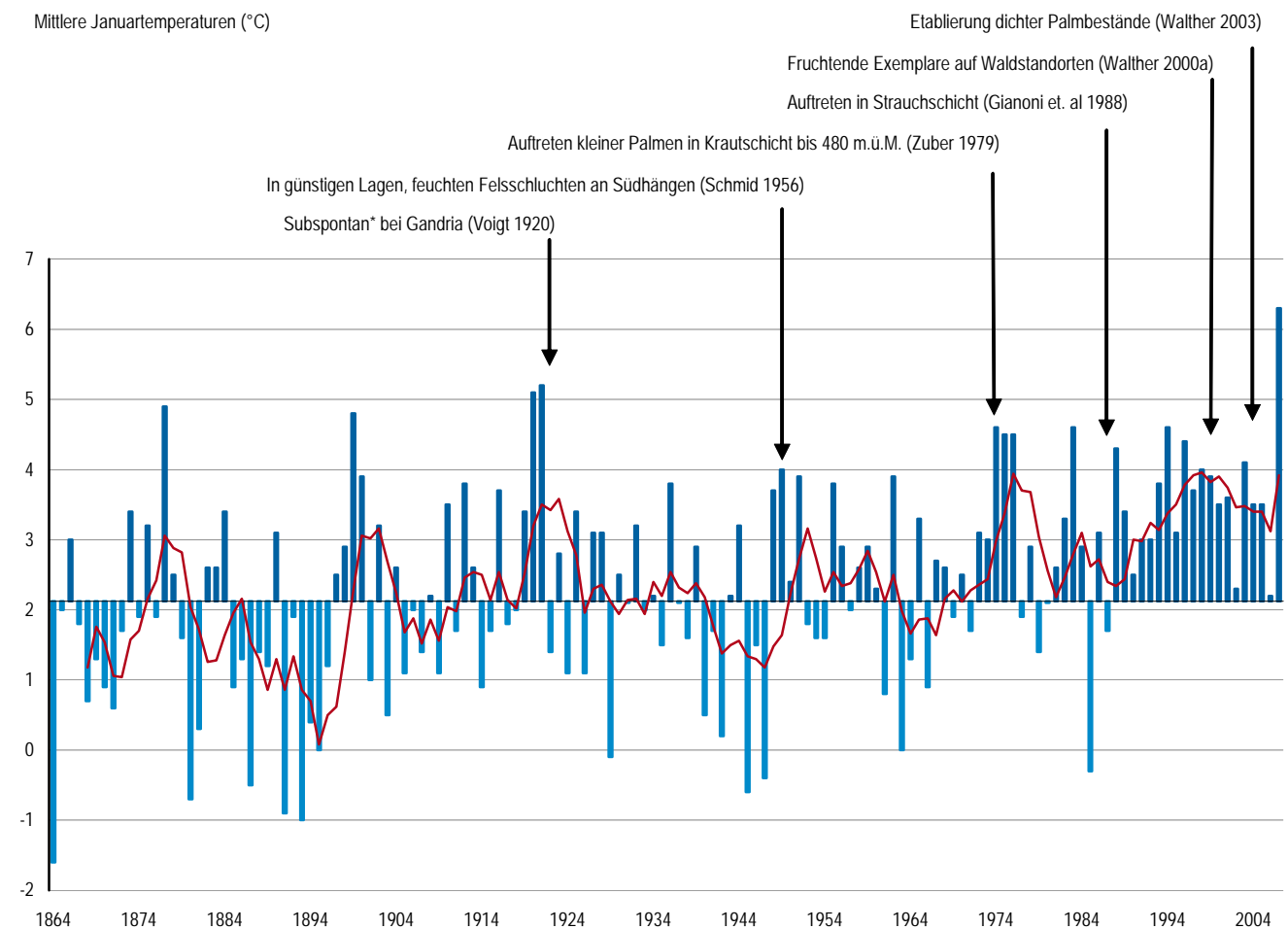
In der Schweiz wird die Hanfpalme seit dem 19. Jahrhundert in Gärten und Parkanlagen angepflanzt. Seit den 1950er Jahren finden sich erste Meldungen verwilderter Hanfpalmen an klimatisch begünstigten Lagen des Tessin (Walther 2006). Seit den 1970er Jahren überleben Sämlinge auch an geschützten Lagen. Aktuell breitet sich die Hanfpalme in tief gelegenen Tessiner Wäldern aus (Abb. 43).

Bemerkenswert ist, dass sich die Hanfpalme und andere immergrüne Laubgehölze in einem ursprünglich sommergrünen Laubwald durchsetzen können. Bis Ende der 1950er Jahre traten auf der Alpensüdseite zwar immer wieder kurze Perioden mit günstigen klimatischen Bedingungen auf, die aber für ein dauerhaftes Aufkommen und Etablieren von Palmenbeständen nicht ausreichten. Ab den 1970er Jahren liegen die winterlichen Bedingungen in der Südschweiz deutlich und anhaltend im günstigen klimatischen Bereich, was es der Hanfpalme ermöglicht, sich in Konkurrenz mit sommergrünen Arten durchzusetzen und sich zu etablieren.

Die immergrüne Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*) ist eine robuste, langsam wachsende Palme, die eine Höhe von über 10 m erreicht.

Abb. 43 > Wintertemperaturen und Auftreten der Hanfpalme in der Südschweiz.

Verlauf der Januar-Mitteltemperaturen seit 1864 und Meldungen zum Auftreten und Etablierung der Hanfpalme in der Südschweiz. Jahresmitteltemperaturwerte als Balken und über fünf Jahre gemittelte Werte als Trendlinie (rot). Die x-Achse bei 2,2 °C kennzeichnet die mittlere Januartemperatur über die ganze Periode.
 * Als *subspontan* wird die erste wild wachsende Generation von kultivierten Pflanzen bezeichnet.



Walther 2006, MeteoSchweiz

Heute gibt es bereits erste Hinweise für die Ausbreitung der Hanfpalme nördlich der Alpen. Ihre Entwicklung wird deshalb im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung auch in diesem Raum beobachtet werden. Die Ausbreitung der Hanfpalme in der Südschweiz ist nur *ein* Beispiel für den jüngsten Vormarsch Wärme liebender Arten in Europa (Walther 2004).

4 > Auswirkungen Gesellschaft und Wirtschaft

Für die Auswirkungen der Klimaänderung auf Gesellschaft und Wirtschaft liegen erst wenige aussagekräftige Indikatoren vor: Graduelle Änderungen des Klimas haben selten unmittelbare und offensichtliche Folgen für Gesellschaft und Wirtschaft. Nahe liegende Beispiele sind der abnehmende Heiz- und der zunehmende Kühlbedarf sowie der Rückgang der Schneesicherheit von Wintersportgebieten in tiefen Lagen. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gesundheit und die Schadensentwicklung von Extremereignissen sind möglich, ein direkter Zusammenhang kann jedoch im heutigen Zeitpunkt in der Regel noch nicht nachgewiesen werden.

4.1 Heiz- und Kühlitage

Heiztage sind jene Tage, an denen die mittlere Aussentemperatur $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder weniger beträgt und an denen normalerweise geheizt wird, um eine Raumtemperatur von $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufrechtzuerhalten. Die Entwicklung der Heiztage zeigt, dass die Notwendigkeit zu heizen in der Schweiz tendenziell abnimmt (Abb. 44). Heiztage sind die Grundlage zur Berechnung der Heizgradtage, welche offiziell verwendet werden, um den Einfluss der Witterung auf den gesamtschweizerischen Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser und die damit verbundenen CO_2 -Emissionen zu analysieren (vgl. Kapitel 1.4.1).

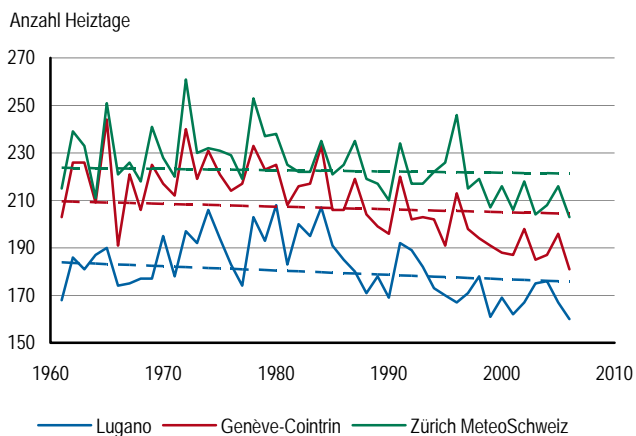
Kühlitage werden hier als einfacher Indikator verwendet für Bedingungen, bei welchen als angenehm empfundene Raumtemperaturen überstiegen werden und der Wunsch nach Kühlung aufkommt. Da keine offizielle Definition für Kühlitage besteht und diese nicht standardmässig erhoben werden, wurden sie von MeteoSchweiz für diesen Bericht auf Grundlage der amerikanischen Definition gerechnet. Diese geht davon aus, dass an Tagen mit einer mittleren Aussentemperatur von über $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($65\text{ Grad Fahrenheit}$) gekühlt wird. Auch wenn es in der Schweiz unüblich sein dürfte, bei dieser Temperatur bereits zu kühlen, ist der Indikator doch geeignet zu illustrieren, dass die Anzahl der Tage, an welchen die Voraussetzungen für die Klimatisierung von Gebäuden gegeben sind, in allen Landesregionen tendenziell zunimmt (Abb. 45).

Die Heiztage nehmen an allen Stationen der Nord-, Süd- und Westschweiz ab, während die Kühlitage tendenziell zunehmen.

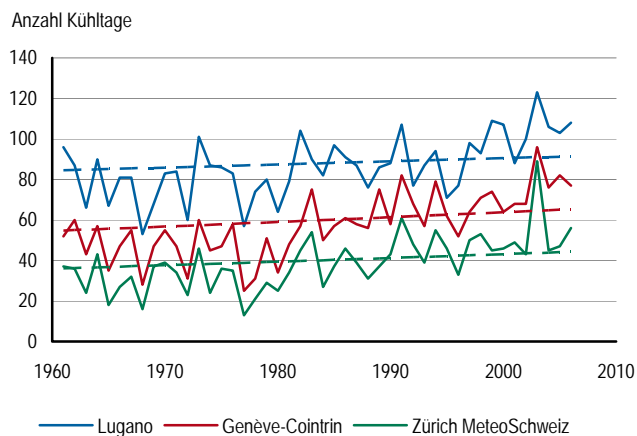
Heiz- und Kühlitage sind ein Indiz für Temperaturbedingungen, bei welchen Gebäude erfahrungsgemäss geheizt bzw. gekühlt werden.

Abb. 44 > Heiztage für ausgewählte Stationen 1961–2006.

Heiztage für Genf, Lugano und Zürich sowie lineare Trendentwicklung.

**Abb. 45** > Kühltage für ausgewählte Stationen 1961–2006.

Kühltage für Genf, Lugano und Zürich sowie lineare Trendentwicklung.



MeteoSchweiz (2007)

Als Folge der Erwärmung werden die Heiztage in der Heizperiode bis 2030 um rund 11 % und bis 2050 um 15 % gegenüber dem Durchschnittswert 1984–2004 abnehmen. Gegenläufig werden sich gemäss den Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie die Anzahl der Kühltage in den Sommermonaten bis 2035 in etwa verdoppeln (BFE 2007c). Bei einer Temperaturzunahme von ungefähr 2,5 °C bis 2050 wird eine Zunahme der Kühltage um ungefähr 150 % erwartet (OcCC/ProClim- 2007).

4.2 Schneesicherheit von Wintersportgebieten

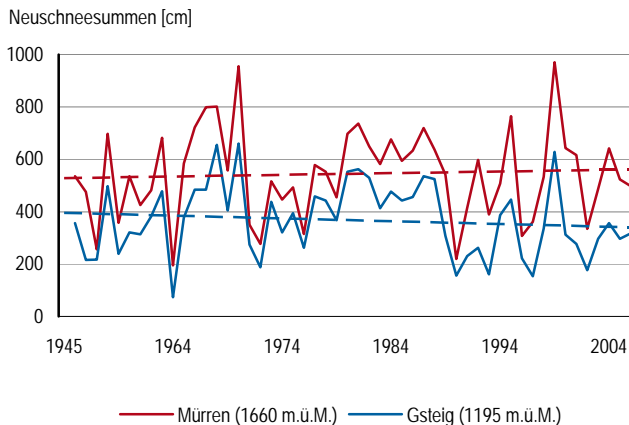
Die Anzahl der Tage mit Schnee nimmt in vielen tiefer gelegenen Skiorten (unterhalb von 1200–1300 m.ü.M.) seit Mitte der 1950er Jahre ab. Bei Wintersportorten, die oberhalb von 1500 bis 1600 m.ü.M. liegen, ist hingegen keine eindeutige Tendenz erkennbar. Auch die Neuschneesummen nehmen in tieferen Wintersportgebieten tendenziell ab, wie Abb. 46 am Beispiel von Gsteig im Berner Oberland zeigt. Beim höher gelegenen Skiort Mürren in derselben Region haben die Neuschneesummen jedoch eher zugenommen.

Der Trend hin zu einem Klima mit weniger Schnee ist also in erster Linie von der Höhenlage abhängig. Nach einer Faustregel steigt die Schneefallgrenze pro Grad Erwärmung um ca. 100–150 m. Bei den Stationen unter 2000 m.ü.M. waren die 1990er Jahre mit grossem Abstand die schneeärmste Dekade seit 1930 (Latenser and Scheebeli 2003). In tieferen Lagen führten die ebenfalls festgestellten häufigeren Winterniederschläge in Form von Regen zu einer Abnahme der Neuschneedecke (Kapitel 2.5), was am Beispiel von Gsteig ersichtlich wird. Die Schneemengen in Lagen über 2000 m.ü.M. dürften in Zukunft eher zunehmen (OcCC/ProClim- 2007).

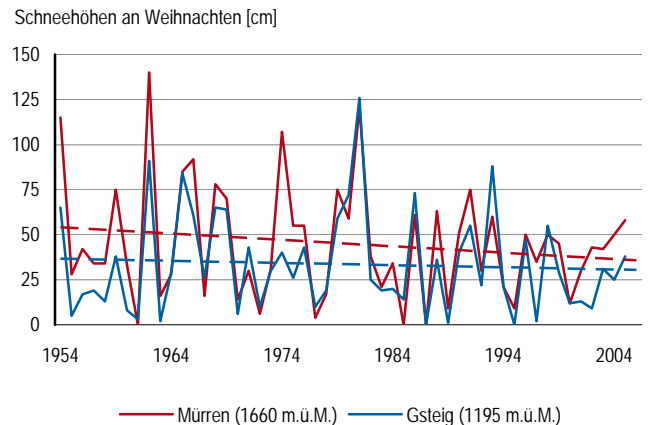
Alpine Skigebiete gelten als schneesicher, wenn sie in 7 von 10 Jahren zwischen dem 16. Dezember und dem 15. April an mindestens 100 Tagen eine Schneedecke von mindestens 30 Zentimeter aufweisen.

Abb. 46 > Neuschneesummen Winter 1955–2006.

Die Entwicklung der Neuschneesumme im Zeitraum 1955 bis 2006 variiert in Abhängigkeit von der Höhenlage.

**Abb. 47 > Schneehöhen an Weihnachten im Wintersportort Mürren.**

Die Schneehöhen an Weihnachten in Mürren (1660 m.ü.M.) und Gsteig (1195 m.ü.M.) zeigen im Zeitraum 1954 bis 2006 einen abnehmenden Trend.



Winterberichte SLF, Abteilung Naturgefahren Kanton Bern, in Müller und Weber (2007)

Neben der Verschiebung der Schneefallgrenze in höhere Lagen findet auch eine zeitliche Verschiebung der Schneefälle in spätere Wintermonate statt. Nimmt man den Weihnachtstag (25. Dezember) als Stichtag, zeigt sich, dass zu diesem Zeitpunkt die Schneedecke in der Tendenz auch in höheren Lagen immer dünner wird (Müller und Weber 2007). Am Standort Mürren kann z.B. eine kontinuierliche Abnahme der Schneehöhe an Weihnachten seit 1954 beobachtet werden (Abb. 47). Mangelnder Schnee verändert das Landschaftsbild – die Winteratmosphäre und damit ein Teil der Attraktivität des Tourismusgebietes in einem für den Wintertourismus sehr bedeuten- den Zeitpunkt bleiben zunehmend aus.

4.3 Ausbreitung der Zecken und Zecken-Enzephalitis-Fälle

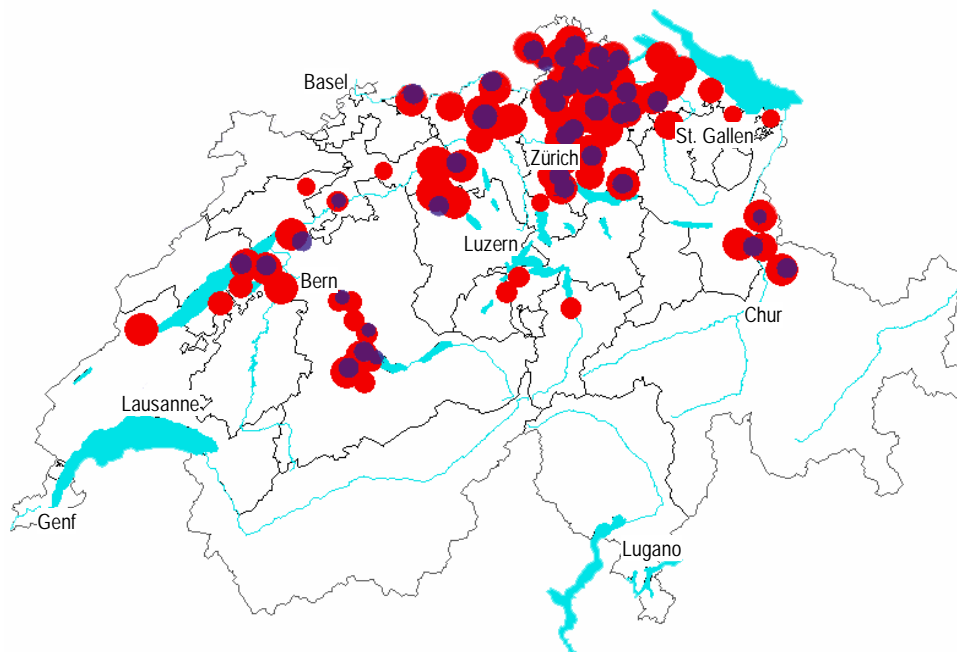
Zecken¹³ halten sich häufig an Waldrändern, Lichtungen oder Böschungen auf und sind bis auf ca. 1200 m.ü.M. anzutreffen. Durch einen Zeckenbiss kann neben der häufigeren, bakteriellen Krankheit Lyme-Borreliose auch die Virusinfektion FSME (Frühsommer-Meningoenzephalitis, auch Zecken-Enzephalitis genannt) auf den Menschen übertragen werden. In den letzten Jahren hat die Zahl der FSME-Fälle in der Schweiz deutlich zugenommen. Teile der Schweiz wurden vom Bundesamt für Gesundheit zum Zecken-Risikogebiet erklärt (Abb. 48).

Infektionen durch Zecken haben in letzter Zeit stark zugenommen. Das wärmer gewordene Klima ist allerdings nur ein Faktor unter vielen zur Erklärung dieser Zunahme.

¹³ Die parasitisch lebenden Zecken gehören zu den Milben. Weltweit sind über 800 Zeckenarten bekannt. In Europa ist vor allem *Ixodes ricinus*, der «gemeine Holzbock» aus der Familie der Schildzecken, verbreitet.

Abb. 48 > Bekannte Endemiegebiete der Zecken-Enzephalitis (FSME) in der Schweiz.

Die Karte zeigt die bekannten Endemiegebiete (Naturherde) der Zecken-Enzephalitis im Januar 1999 (violett) und im November 2006 (rot). Die Gefahr, von einer Zecke infiziert zu werden, hat aufgrund der grösseren Verbreitung zwischen 1999 und 2006 zugenommen.



BAG (2007)

Viele FSME-Infektionen verlaufen in Form einer grippeähnlichen Erkrankung oder erzeugen überhaupt keine Krankheitssymptome. Die Krankheit kann jedoch auch sehr gefährlich sein, das zentrale Nervensystem befallen und Dauerschäden hinterlassen. Das Bundesamt für Gesundheit empfiehlt darum Personen in Endemiegebieten die Impfung gegen FSME. In Österreich hat die Zahl der FSME-Fälle in den letzten Jahren abgenommen, was dem konsequenten Impfprogramm zugeschrieben wird (OcCC/ProClim- 2007).

Die gegenwärtige Zunahme der Zecken-Enzephalitis kann nicht direkt mit dem Klimawandel erklärt werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass klimatische Veränderungen bei der Ausbreitung der Zecken-Enzephalitis eine Rolle spielen.

Zecken durchlaufen mehrere Entwicklungsstadien von der Larve über die Nymphe bis zur ausgewachsenen Zecke. Der Aktivitätsraum von Zecken, aber auch die Übertragung des FSME-Virus zwischen Tieren in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, hängt stark von den Temperatur- und Niederschlagsbedingungen ab. Mildere Winter begünstigen die Verbreitung von Zecken und ihren Wirtstieren in höher gelegene Regionen, während abnehmende Sommerniederschläge und heisse Sommer die Lebensbedingungen für die Zeckenpopulation und die Voraussetzungen für die Virenübertragung verschlechtern. Insgesamt dürfte die Klimaänderung über grössere Zeit-

räume hinweg zu einer Verschiebung der Endemiegebiete des FSME-Virus in höhere Lagen und Breitengrade führen (Randolf und Rogers 2000, OcCC/ProClim- 2007).

Ein möglicher Grund für die aktuelle Zunahme der registrierten FSME-Fälle ist die längere Kontaktperiode von Zecken und Menschen. Bei einer moderaten Klimaerwärmung verlängert sich die Aktivitätszeit der Zecken und die Virusübertragung von Zecke zu Zecke bleibt ungestört. Gleichzeitig ändern sich bei wärmerem Wetter auch Freizeitverhalten und Bekleidung des Menschen, was die Wahrscheinlichkeit des Kontakts mit Zecken erhöht.

4.4 Extremereignisse und versicherte Schäden

Hochwasser, Murgänge, Erdbeben, Felsstürze, Lawinen und Stürme gehören zu den Naturgefahren, von welchen die Schweiz immer wieder betroffen ist. Der Klimawandel dürfte die Häufigkeit und Intensität von Schadenereignissen beeinflussen. Zudem ist vermehrt mit Trockenperioden und Hitzewellen zu rechnen (BAFU 2007d).

Der Hitzesommer 2003 hat mit rund 1000 zusätzlichen Todesfällen die Anfälligkeit der Bevölkerung gegenüber solchen Witterungsextremen aufgezeigt. Je nach Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen könnten ähnliche Situationen bis Mitte des 21. Jahrhunderts alle paar Jahre auftreten. Hitzewellen beeinträchtigen auch die Leistungsfähigkeit der arbeitstätigen Bevölkerung und haben damit wirtschaftliche Folgen. Bei Temperaturen über 30 °C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar (OcCC/ProClim- 2007).

Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Witterungsereignissen mit katastrophalen Folgen sind schwierig. Einerseits verändert die Klimaänderung die Voraussetzungen für den Verlauf von Schadenereignissen, indem sie z. B. die Niederschlagsintensität (siehe Kap. 2.4), die Bodenfeuchte, aber auch die Verfügbarkeit von Lockermaterial, welches von Bächen mitgeführt werden kann, beeinflusst. Andererseits ist bei sehr seltenen Ereignissen ein Trend naturgemäss nur über sehr grosse Zeiträume erkennbar. Wachsende Schäden sind zudem kein verlässlicher Indikator für einen Einfluss des Klimawandels, da der Schaden durch sehr viele Faktoren beeinflusst wird, nicht zuletzt durch das Vorhandensein von Sachwerten und Schutzmassnahmen im betroffenen Gebiet.

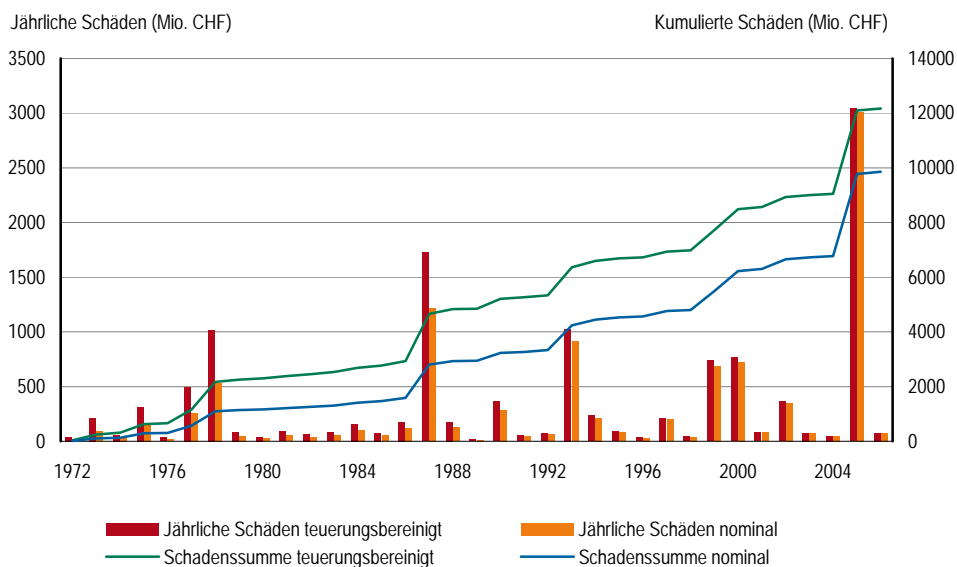
Im Umgang mit Naturgefahren hat in den letzten Jahren bei der Gefahrenprävention des Bundes ein Umdenken stattgefunden (BAFU 2007d). Die reine Gefahrenabwehr und Ereignisbewältigung wird allmählich durch ein integrales Risikomanagement abgelöst. Aufbauend auf die Gefahrenkarten der Kantone (Kapitel 5.2.2) werden Schwachstellen systematisch geprüft, Präventionsmassnahmen getroffen und Notfallkonzepte erarbeitet.

Klimaexperten rechnen mit einer Zunahme der Witterungsextreme. Extremereignisse und ihre Schadenfolgen sind aber als Indikatoren für den Klimawandel wenig geeignet.

Das Hochwasser im August 2005 gilt als bislang teuerstes Einzelereignis in der Schweiz mit einer Schadenssumme von CHF 3 Mia. (Abb. 49). Der Anstieg der kumulierten Schadenkosten seit Beginn der 1970er Jahre ist im Vergleich zum Anstieg der Bevölkerung, der Fläche des Siedlungsraumes und der Wertdichte deutlich unterproportional. Das Ausmass an Naturereignisschäden ist demnach kleiner als aufgrund der Wertentwicklung effektiv zu erwarten wäre. Diese Entwicklung wird auch auf die Wirkung der ergriffenen Schutzmassnahmen zurückgeführt (BAFU/WSL 2007).

Abb. 49 > Schäden durch Hochwasser und Rutschungen 1972–2006.

Jährliche Schäden und Schadenssummen, nominal und teuerungsbereinigt (Preisbasis 2004). Die Entwicklung der Schadenssumme von 1972 bis 2006 zeigt, dass die kumulierten Kosten für Schäden durch Hochwasser, Rutschungen und Murgänge in den vergangenen 30 Jahren nahezu linear angestiegen sind.



Daten: WSL (2007)

Die Schäden der weltweit grössten Naturkatastrophen übersteigen jene in der Schweiz um ein Vielfaches. Das Jahr 2005 gilt auch weltweit als das bisher teuerste Jahr für die Versicherungen: Der Hurrikan Katrina verursachte den grössten je versicherten Schaden von umgerechnet CHF 56 Mia. (OcCC/ProClim- 2007). Wirtschaftswachstum, die Besiedlung gefährdeter Bereiche sowie veränderte Gepflogenheiten bei der Erfassung und Regulierung der Schäden können die wachsenden Schäden zumindest teilweise erklären.

5 > Antworten auf die Klimaänderung

In den periodischen Berichten zuhanden der UNO-Klimakonvention werden die klimapolitischen Massnahmen der Schweiz umfassend gewürdigt (Swiss Confederation 2005). Der Schwerpunkt der Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen liegt in den Bereichen Umwelt und Energie. Die wichtigsten Indikatoren zeigen einen positiven Effekt auf die Emissionsentwicklung. Die Ziele konnten allerdings bisher nur teilweise erreicht werden. Insbesondere im Verkehrsbereich ist der Handlungsbedarf nach wie vor gross.

5.1 Massnahmen zur Emissionsverminderung

5.1.1 Übersicht

Tab. 2 > Die wichtigsten emissionswirksamen Massnahmen.

Politikbereich	Massnahmen	Betroffene Treibhausgase
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Gesetz: freiwillige Massnahmen, subsidiäre CO₂-Abgabe • Förderung von Erdgas- und biogenen Treibstoffen • Förderung schwefelfreier Treibstoffe (ermöglicht den Einsatz sparsamerer Motoren) • Regulierung des Einsatzes synthetischer Treibhausgase • Abfallbewirtschaftung: Ablagerungsverbot für brennbare Abfälle, Energieerzeugung in KVAs • Luftreinhaltepolitik: Reduktion von Schadstoffen, die zur Bildung von Treibhausgasen führen 	CO ₂ verschiedene CO ₂ HFC/PFC/SF ₆ CH ₄ , CO ₂ verschiedene
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Energiegesetz und Programm «EnergieSchweiz» (rationelle Energienutzung und Förderung der erneuerbaren Energien) - Zielvereinbarungen mit Unternehmensgruppen und Autoimporteuren - Aktivitäten der Kantone im Gebäudebereich: Minergie, Förderprogramme, kantonale Energiegesetze - Energieetikette für Personewagen und Geräte - Sparsame Fahrweise Ecodrive 	CO ₂ , N ₂ O
Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Verlagerung der Gütertransporte auf die Schiene • leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe LSVA • Ausbau und Förderung des öffentlichen Verkehrs 	CO ₂ , N ₂ O CO ₂ , N ₂ O CO ₂
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • umweltschonendere Bewirtschaftung («ökologischer Leistungsnachweis») 	CH ₄ , N ₂ O
Wald	<ul style="list-style-type: none"> • nachhaltige Bewirtschaftung, Schutz der Waldfläche (Rodungsverbot) • Förderung von Holz als Baustoff und Energieträger zur Substitution fossiler und nicht erneuerbarer Rohstoffe 	CO ₂ CO ₂
Internationale Zusammenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Beteiligung am globalen Umweltfonds (Finanzierung von Projekten im Rahmen der Klimakonvention) • Finanzhilfe im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit 	verschiedene verschiedene

Die Klimapolitik der Schweiz ist in diverse Sektorpolitiken eingebunden, die wiederum in eine übergeordnete Strategie der nachhaltigen Entwicklung eingebettet sind. Das Kyoto-Protokoll und das CO₂-Gesetz sind wichtige Rahmenwerke für die Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Massnahmen in den einzelnen Politikbereichen.

Kohlendioxid (CO₂) ist das wichtigste Treibhausgas und ist heute für gut 85 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich (vgl. Abb. 11 in Kap. 1). Diesem hohen Stellenwert versucht das CO₂-Gesetz gerecht zu werden: Die meisten klimapolitischen Massnahmen in den verschiedenen Politikbereichen zielen spezifisch auf die Reduktion oder Vermeidung von CO₂-Emissionen.

Im Gegensatz zur Emissionsreduktion fehlt in der Schweiz bisher eine eigenständige, koordinierte Politik im Bereich der Überwachung der Auswirkungen des Klimawandels und der Anpassungsmassnahmen.

5.1.2 Umsetzung des CO₂-Gesetzes

Die schweizerische Klimapolitik orientiert sich an den Zielen des Kyoto-Protokolls und des CO₂-Gesetzes. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls hat sich die Schweiz verpflichtet, die Gesamtsumme der Emissionen von sechs Treibhausgasen um 8 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Das Ziel muss zwischen 2008 und 2012 erreicht werden. Mit dem CO₂-Gesetz soll der CO₂-Ausstoss aus der energetischen Nutzung fossiler Energieträger im gleichen Zeitraum um 10 % unter den Wert von 1990 gesenkt werden.

Das CO₂-Gesetz betrifft nur CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern. Das Kyoto-Protokoll umfasst sechs Treibhausgase bzw. Gasgruppen (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC und SF₆).

Die Ziele des CO₂-Gesetzes und des Kyoto-Protokolls sind kompatibel. Mit der Reduktion von CO₂ um 10 % kann gleichzeitig auch die Vorgabe des Kyoto-Protokolls erfüllt werden, sofern die Summe der Emissionen aus den übrigen Gasen in etwa konstant bleibt. Das CO₂-Gesetz unterscheidet ein Brennstoffziel (-15 %) und ein Treibstoffziel (-8 %). Die Emissionsreduktionen sollen mit einer Mischung von Massnahmen erreicht werden.

- > Freiwillige Massnahmen von Wirtschaft und Privaten
- > Massnahmen weiterer Politikbereiche (z. B. EnergieSchweiz, LSVA)
- > CO₂-Abgabe (falls die oben genannten Massnahmen zu wenig Wirkung zeigen)
- > Flexible Mechanismen des Kyoto-Protokolls (Zukauf von Emissionszertifikaten aus Reduktionsprojekten im Ausland)

Ende 2006 waren ca. 37 % der CO₂-Emissionen der Schweizer Wirtschaft – über 1600 Unternehmen – in der Einzelzielvereinbarung der Schweizer Zementindustrie mit dem UVEK bzw. in freiwilligen Zielvereinbarungen unter dem Dach der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) eingebunden oder standen vor dem Abschluss einer Zielvereinbarung.

Die Vereinbarungen mit der EnAW beziehen sich vor allem auf Massnahmen, welche den Energieverbrauch im stationären Bereich betreffen (Heizungen, Industrieprozesse). Die prognostizierten CO₂-Einsparungen gegenüber der unbeeinflussten Entwicklung betragen bis 2010 über 18 %. Gegenüber dem Stand 2000 ergibt sich mit den in diesen Vereinbarungen zugesagten Massnahmen bis 2010 eine absolute Reduktion der Emissionen um knapp 7 %.

2005 hat der Bundesrat den «Klimarappen» als weitere freiwillige Massnahme der Wirtschaft versuchsweise akzeptiert. Durch einen Zuschlag von 1,5 Rappen pro Liter Benzin bzw. Diesel werden Mittel generiert, die zur Finanzierung von Reduktionsprojekten im In- und Ausland eingesetzt werden sollen. Der «Klimarappen» soll insbesondere der Schliessung der Ziellücke im Bereich der CO₂-Emissionen aus dem Verkehr dienen.

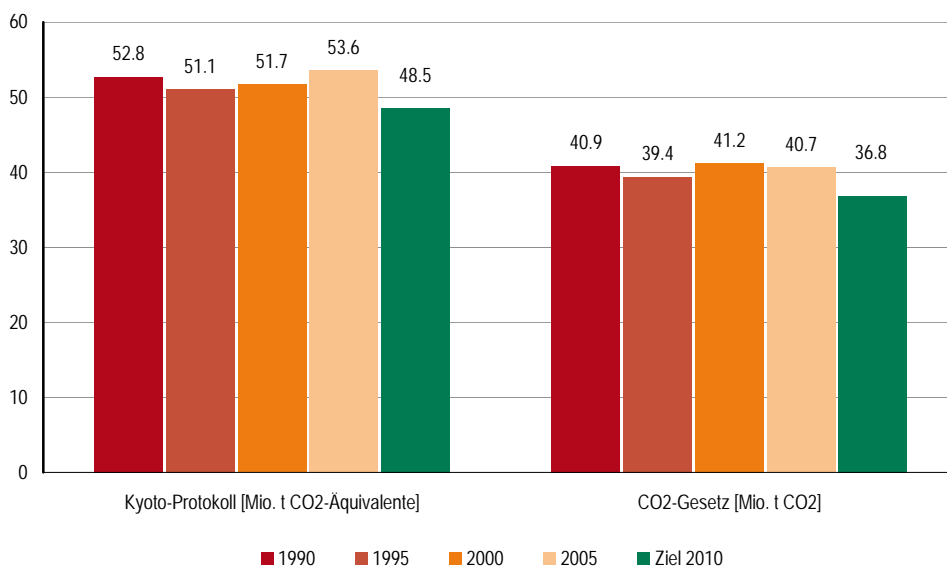
Sowohl beim CO₂-Gesetz als auch beim Kyoto-Protokoll sind die Reduktionsleistungen vorrangig im Inland zu erbringen (so genannte Supplementarität von Auslandsmassnahmen). Damit soll sichergestellt werden, dass die beträchtlichen vorhandenen Reduktionspotenziale im Inland ausgeschöpft und Impulse für die vermehrte Nutzung erneuerbarer, emissionsarmer Energieträger sowie für technologische Innovationen und die Schaffung von Arbeitsplätzen in zukunftsträchtigen Branchen gegeben werden. Effizienzsteigerungsmassnahmen im Inland reduzieren zudem die Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland und tragen zur Verringerung der Gesundheitsbelastung durch Luftschadstoffe bei.

Wie in Abb. 50 dargestellt betragen die gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2005 53,6 Mio. Tonnen. Dies entspricht einer leichten Zunahme um 0,9 Mio. t gegenüber dem Jahr 1990. Die Stabilisierung der Treibhausgasemissionen ist das Ergebnis gegenläufiger Entwicklungen: Insbesondere die Energiepolitik des Bundes (Programm «EnergieSchweiz»), die freiwilligen Massnahmen der Wirtschaft und die rückläufigen Emissionen in der Landwirtschaft bewirken eine Abnahme, welche allerdings vom Anstieg im Verkehrssektor sowie einem generellen Trend zu Mehrmissionen infolge Bevölkerungszunahme und Wirtschaftswachstum kompensiert wird.

EnergieSchweiz ist das wichtigste Programm des Bundes zur Senkung des fossilen Energieverbrauchs. Ziele sind die Steigerung der Energieeffizienz und die Förderung der erneuerbaren Energien.

Abb. 50 > Stand der Zielerreichung: Kyoto-Protokoll und CO₂-Gesetz.

Die Emissionen gemäss Kyoto-Protokoll (alle Gase) und CO₂-Gesetz (nur CO₂ aus dem Verbrauch fossiler Energieträger) schwanken relativ eng um den Ausgangswert des Jahres 1990. Zur Erreichung der Zielvorgaben für 2010 (Durchschnitt der Jahre 2008–2012) sind zusätzliche Massnahmen notwendig.



BAFU

Zum Schliessen der Lücke zwischen dem Emissionsstand 2006 und den Zielvorgaben 2008–2012 muss die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen weiter reduzieren: 2007 hat das Parlament zwei zusätzliche Massnahmen genehmigt: die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe und die steuerliche Begünstigung von biogenen Treibstoffen. Wenn diese Massnahmen nicht ausreichen, können zusätzlich Emissionszertifikate aus Auslandprojekten sowie gegebenenfalls die Aufnahme von CO₂ durch Holzzuwachs in den Wäldern (sogenannte Kohlenstoffsenken) angerechnet werden. Das CO₂-Gesetz sieht allerdings nur die Verwendung von zugekauften Emissionszertifikaten – wie sie beispielsweise durch die Stiftung Klimarappen beschafft werden – als Beitrag zur Zielerfüllung vor.

5.1.3 Verbrauch und CO₂-Emissionen von neuen Personenwagen

Das Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat zusammen mit der Vereinigung Schweizer Automobil Importeure (VSAI) im Jahre 2002 eine Zielvereinbarung zur Reduktion des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs der Neuwagen von jährlich drei Prozent abgeschlossen. Dies bedeutet, dass bis ins Jahr 2008 der Treibstoffverbrauch auf 6,4 l/100 km zu senken ist.

Tab. 3 > Stand der Zielerreichung: Verbrauchsziel neue Personenwagen.

Entwicklung der Verkaufszahlen sowie der Durchschnittswerte für Treibstoffverbrauch, CO₂-Emissionen und Gewicht der neu in Verkehr gesetzten Personenwagen gemäss Zielvereinbarung zwischen der Vereinigung Schweizer Automobil Importeure und dem UVEK. Gemäss bisheriger Entwicklung wird die Zielvorgabe deutlich verfehlt.

	verkaufte Neuwagen	durchschnittl. Verbrauch in l/100 km	durchschnittl. Emission in g CO ₂ /km	Durchschnittsgewicht in kg
2003	265'696	7,99	195	1440
2004	266'605	7,82	192	1462
2005	257'886	7,67	189	1478
2006	265'482	7,62	187	1491
Ziel gemäss Vereinbarung		2008: 6,40		

auto-schweiz 2004, 2005, 2006, 2007

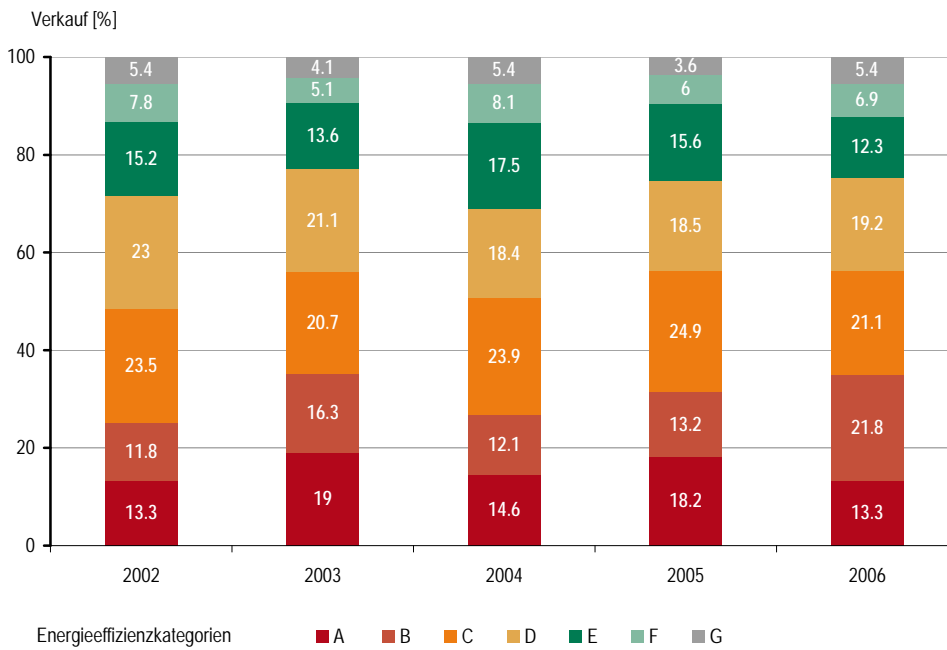
Die CO₂-Emissionen von Neuwagen belaufen sich im Jahr 2006 auf durchschnittlich 187g CO₂/km. Bei Benzin betriebenen Fahrzeugen liegt der Durchschnitt bei 190g/km, bei Dieselfahrzeugen mit 181g/km um 4,7 % tiefer. Der Gesamttreibstoffverbrauch der neuen Personenwagen sollte im Jahr 2006 gemäss vereinbartem Reduktionspfad bei 6,9 l/100 km (169g CO₂/km) liegen. Der effektiv erzielte Wert von 7,62 l/100 km (187g CO₂/ km) liegt gut 10 % höher und das angestrebte Ziel für 2008 (Reduktion auf 6,4 l/100 km respektive 157g CO₂/km) ist nicht mehr zu erreichen.

Wesentlich zur beobachteten Entwicklung beigetragen hat der Anstieg von verkauften Fahrzeugen der schwersten Kategorie. 13,3 % der im Jahr 2006 gekauften Autos fallen in die höchste Energieeffizienz-kategorie (Kategorie A) und 21,8 % in die zweithöchste Energieeffizienz-kategorie (Kategorie B). Bei beiden Kategorien beläuft sich der Treibstoffverbrauch pro 100 km auf unter 6,23 l. Auffällig ist, dass zwischen 2005 und 2006 der Anteil von Neuwagen der Energieeffizienz-kategorie A deutlich rückläufig war (vgl. Abb. 51).

Die Verbrauchsziele 2008 für neue Personenwagen sind nicht zu erreichen, weil immer mehr grosse, schwere Fahrzeuge («SUVs») verkauft werden.

Abb. 51 > Verkauf von Neuwagen nach Energieeffizienz kategorien.

Anteil (in Prozent) der Energieeffizienz kategorien der verkauften Neuwagen im Jahr 2006. A = höchste Energieeffizienz, G = tiefste Energieeffizienz. Eine leichte Tendenz hin zu effizienteren Fahrzeugen ist erkennbar. Für die Jahre 2004, 2005, 2006 wurden die neuen Grenzwerte der Effizienz kategorien verwendet, für die Jahre 2002, 2003 sind die mit den alten Kategoriegrenzen gerechneten Werte aufgeführt.



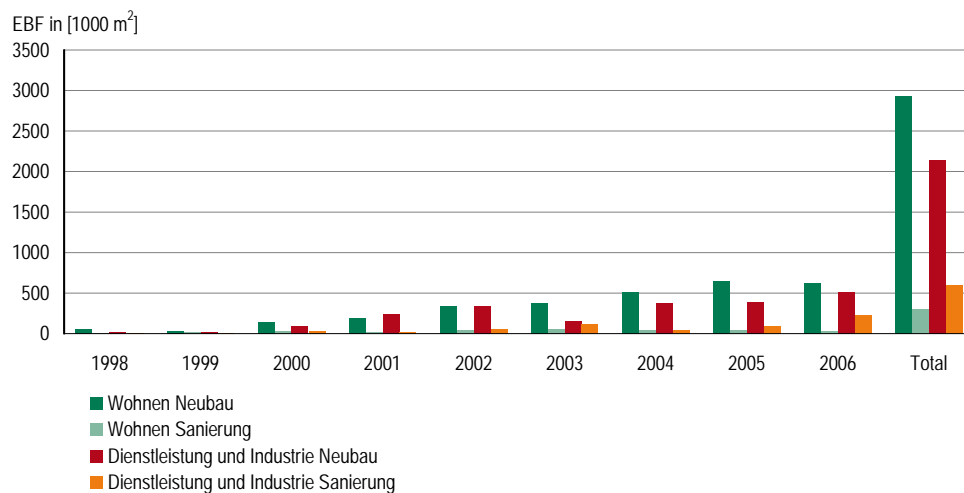
5.1.4 Energiebezugsfläche zertifizierter Gebäude

Ein grosser Teil des Brennstoffverbrauchs stammt aus dem Gebäudebereich. Zur Reduktion des Energieverbrauchs trägt hier der MINERGIE-Standard einen bedeutenden Teil bei. MINERGIE® ist ein Label, das Gebäude mit tiefem Energieverbrauch und gleichzeitig hoher Wohnqualität zertifiziert. Das Label wurde 1998 eingeführt. 2002 wurde zudem der Passivhaus-Standard MINERGIE-P® eingeführt, welcher ein eigenständiges und am niedrigen Energieverbrauch orientiertes Gebäudekonzept bedingt (Verein MINERGIE 2006). MINERGIE wird vom Programm «EnergieSchweiz» finanziell unterstützt. Die Kantone leisten mit direkten Förderbeiträgen einen wichtigen Beitrag zur Einführung und Etablierung von MINERGIE. Der MINERGIE-Standard wird von 18 Kantonen direkt oder indirekt gefördert.

MINERGIE® ist ein Label für Gebäude mit deutlich unterdurchschnittlichem Energieverbrauch und hoher Wohnqualität.

Abb. 52 > Energiebezugsfläche von MINERGIE- und MINERGIE-P-Gebäuden.

Die Energiebezugsfläche (EBF) von Gebäuden, die mit dem MINERGIE- oder MINERGIE-P-Label ausgezeichnet sind, hat zwischen 1999 und 2006 kontinuierlich zugenommen. Im Vergleich zu den Neubauten ist der Stellenwert von Sanierungen nach MINERGIE-Standard noch gering.



MINERGIE (2006)

Der stetige Anstieg der Energiebezugsfläche (EBF)¹⁴ von MINERGIE und MINERGIE-P Gebäuden ist in Abb. 52 aufgeführt. Neubauten (v.a. Neubauten im Bereich Wohnen) weisen eine höhere EBF auf als Sanierungen. Die EBF 2006 von MINERGIE und MINERGIE-P Gebäuden betrug 5,9 Mio. m² (BFE 2007a) was 0,9 % der EBF der Schweiz (inkl. Altbauten) entspricht. Die EBF der Schweiz 2006 betrug 672,2 Mio. m² (geschätzter Wert auf Basis von BFE 2004a). Ziel ist es, die MINERGIE-Standards gesetzlich zu verankern.

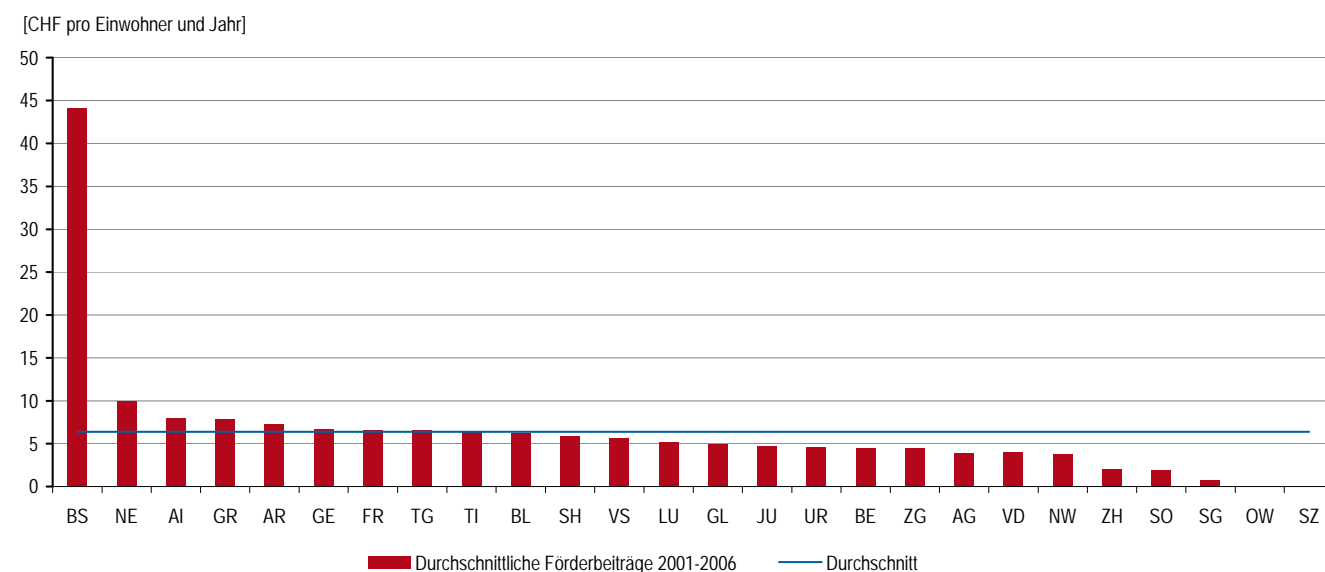
¹⁴ Die Energiebezugsfläche (EBF) ist die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist, d.h. ohne Waschküche und Trockenräume, Heizräume und Maschinenräume, Garagen, Räume für die Brennstofflagerung, Einstellräume für Velos etc.

5.1.5 Effekte von kantonalen Förderprogrammen auf die CO₂-Emissionen

Der Bund kann den Kantonen jährliche Globalbeiträge für Massnahmen zur sparsamen und rationellen Energienutzung sowie zur Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme ausrichten (BFE 2006b). Die Höhe der ausbezahlten Beiträge orientiert sich an den finanziellen Eigenleistungen eines Kantons sowie an der Wirksamkeit des kantonalen Förderprogramms. Die ausbezahlten Förderbeiträge der Kantone (vgl. Abb. 53) fliessen in direkt verbrauchswirksame Massnahmen wie MINERGIE-Bauten, Holzfeuerungen, Photovoltaik, Abwärmenutzung sowie in Machbarkeitsstudien, Veranstaltungen, Informationsarbeit, Aus- und Weiterbildung, etc.

Abb. 53 > Kantonale Förderprogramme.

Durchschnittlich pro Einwohner und Jahr ausbezahlte Förderbeiträge im Zeitraum 2001–2006.
Der Durchschnittswert der Förderbeiträge pro Einwohner über alle Kantone beläuft sich auf CHF 6.4.



BFE 2002, 2003, 2004b, 2005, 2006b, 2007b

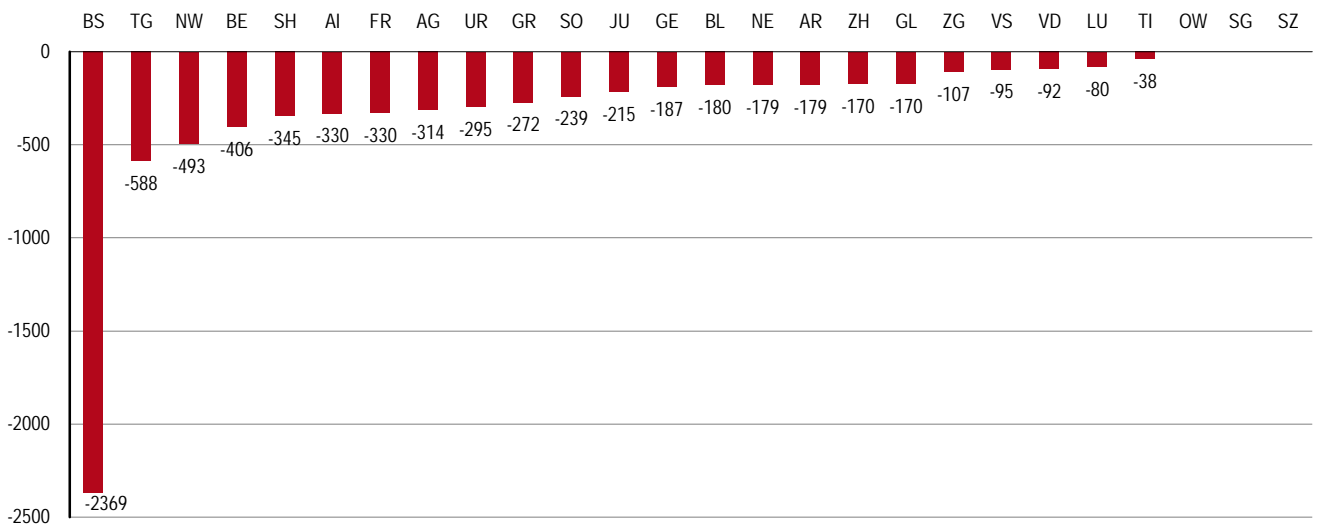
Der Kanton Basel-Stadt weist mit durchschnittlich CHF 44.10 pro Einwohner das mit Abstand höchst dotierte Förderprogramm aus. Über dem Durchschnittswert der Periode 2001–2006 liegen ebenfalls die Beiträge der Kantone Neuenburg, Graubünden sowie der beiden Appenzell. Die Kantone Obwalden und Schwyz verfügten über den ganzen betrachteten Zeitraum über kein Förderprogramm gemäss Art. 15 des Energiegesetzes.

Wie in Abb. 54 dargestellt, erzielte Basel-Stadt mit 2,37 Mio. t pro Million Einwohner auch die höchsten CO₂-Einsparungen über die Lebensdauer der geförderten Anlagen. In der Abbildung dargestellt ist der Stand 2006 der Gesamtwirkung der Anlagen, welche mit Beiträgen eines Kantons gefördert wurden.

Abb. 54 > CO₂-Einsparungen aus Förderbeiträgen.

Stand 2006 der CO₂-Einsparungen der durch kantonale Beiträge geförderten Anlagen, gerechnet über die erwartete Lebensdauer und pro Mio. Einwohner. Die Einsparung einer Anlage entspricht den vermiedenen CO₂-Emissionen aufgrund des jährlichen Energieertrages bzw. der jährlichen Energieeinsparung multipliziert mit der Anzahl Jahre, während welcher die Anlage in Betrieb sein wird.

[1000t CO₂ über Lebensdauer/Mio. Einwohner]



BFE 2007b (provisorische Ergebnisse für das Jahr 2006)

5.2 Strategien im Umgang mit den Auswirkungen der Klimaänderung

5.2.1 Übersicht

Noch gibt es erst wenige Bereiche, wo die öffentliche Hand oder Private aktiv werden, weil sie die Klimaänderung zum Handeln zwingt. Zudem ist es nicht immer einfach, die Bedeutung, welche die Klimaänderung beim Ergreifen einer bestimmten Massnahme spielt, zu bestimmen. In diesem Kapitel werden Beispiele für Massnahmen und Investitionen vorgestellt, welche die Folgen der Klimaänderung – zumindest kurz- bis mittelfristig – mildern können.

- > Hochwasser, Rutschungen, Murgänge und Steinschlag sorgten in den letzten Jahren für Schlagzeilen und werden voraussichtlich durch den Klimawandel noch häufiger auftreten. Gefahrenkarten als wichtige Grundlage für die Prävention vor Naturgefahren dienen auch der Vorsorge vor neuen klimabedingten Risiken.
- > Der Wintertourismus ist von sich verändernden Niederschlagsverhältnissen betroffen. Mit Beschneiungsanlagen wird der zunehmenden Schneeunsicherheit begegnet. Gleichzeitig verlieren Bergbahnmasten und -stationen auf auftauenden Permafrostböden ihren Halt. Aufwändige Sanierungsmassnahmen können die Folge sein.
- > Bei der Bewässerung der Landwirtschaft ist ein deutlicher Trend zu immer grossflächigerer Bewässerung erkennbar. Auch im Mittelland werden vermehrt Subventionen für Bewässerungsanlagen beantragt.

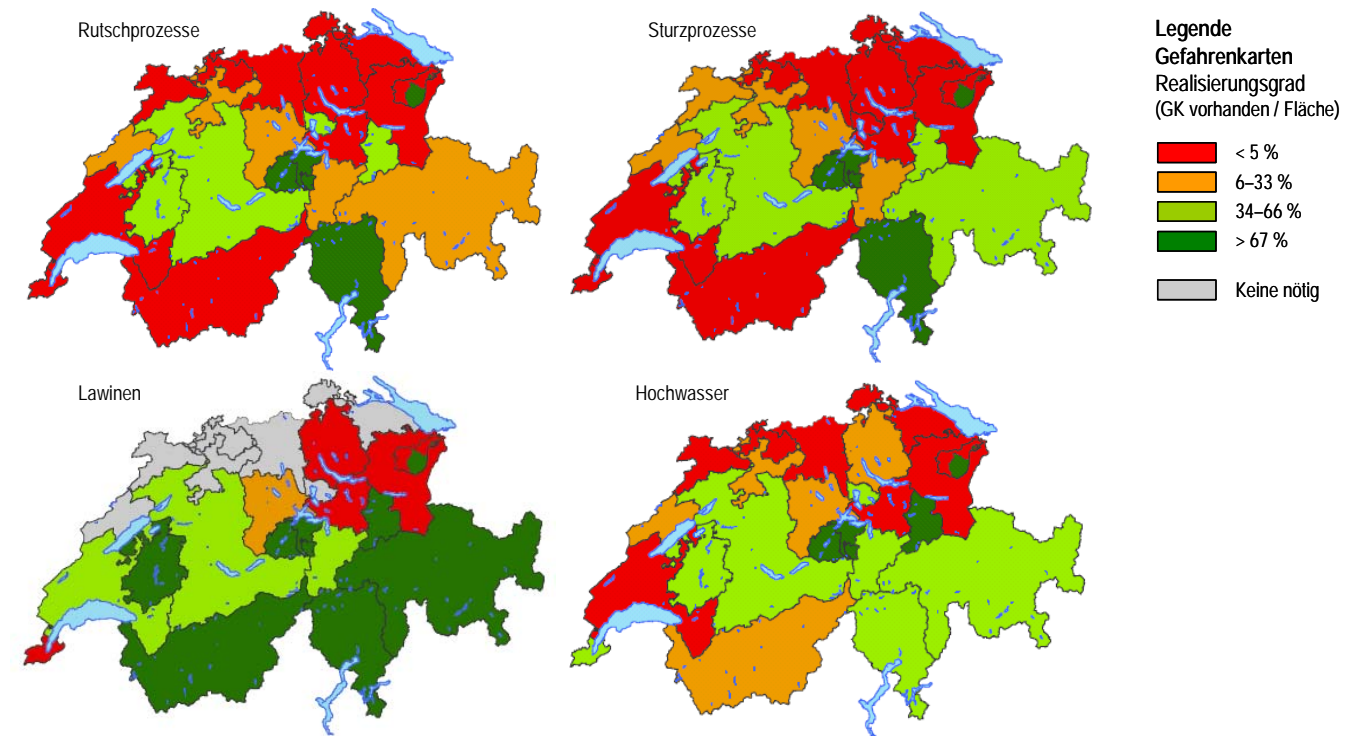
Gewisse Antworten auf die Klimaänderung sind nicht nur sehr kostspielig: Sie erhöhen gleichzeitig den Druck auf natürliche Ressourcen. So kann auch in der Schweiz Wasser zu einem knappen Gut werden, wenn sich abnehmende Niederschläge und höherer Verbrauch überlagern. Wenn zudem mit Anpassungsreaktionen – wie zum Beispiel Beschneiungs- oder Klimatisierungsanlagen – höherer Energieverbrauch und zusätzliche Treibhausgasemissionen einhergehen, führt Symptombekämpfung gar zu einer Verschärfung der Problemursache. Aus diesem Grund muss der Umgang mit den Folgen der Klimaänderung stets kritisch auf Fehlanpassungen hinterfragt werden.

5.2.2 Gefahrenkarten und Gefahrenprävention

Gefahrenkarten machen Risiken erkennbar. Sie enthalten detaillierte Angaben über Ursachen, Ablauf, räumliche Ausdehnung, Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren. Die Gefährdung von Gebieten wird dabei in die vier Kategorien «erhebliche», «mittlere», «geringe» und «Rest-Gefährdung» eingeteilt. Sie dienen insbesondere als Grundlage für die Nutzungsplanung, die Realisierung von Schutzmassnahmen und die Notfallplanung.

Abb. 55 > Realisierungsgrad der Gefahrenkarten für Rutschprozesse, Sturzprozesse, Lawinen und Hochwasser.

Anfang 2006 existierten Gefahrenkarten für Rutschprozesse für 23 % der Schweizer Landesfläche. Die Gefahrenkartierung für Sturzprozesse und Hochwasser umfasste 30 % und für Lawinen 66 % der Landesfläche. GK: Gefahrenkarte.



BAFU (2006a)

Die Gefahrenkartierung für Lawinen umfasst bereits 66 % der Landesfläche, für Hochwasser, Felsstürze und Rutschungen dagegen erst 23–30 % (Abb. 55). Während Lawinenkatastrophen mit zahlreichen Opfern im Jahre 1951 bereits früher ein Handeln forderten, fand im Bereich von Hochwasser und Rutschungen erst 1987 ein Umdenken statt, als die Kantone Graubünden, Uri, Tessin und Wallis von starken Überschwemmungen betroffen wurden (BAFU 2006b). Der Stand der Gefahrenkartierung ist in den Kantonen sehr unterschiedlich. Der Bund unterstützt die Kantone, damit die Gefahrenkarten bis 2011 vollständig vorliegen.

Ihre Qualität und ihren Nutzen haben die Gefahrenkarten im Unwetterereignis vom August 2005, das mit 3 Mia. Franken als bisher schwerstes Ereignis in die Geschichte eingegangen ist, unter Beweis gestellt. Trotz hoher Unsicherheiten bei der Einschätzung von seltenen Naturereignissen wurden die gefährdeten Gebiete zuverlässig erkannt, wie Vergleiche von Gefahrenkarten und Unwetterereignis zeigen. Auch die auf der Grundlage von Gefahrenkarten geplanten und umgesetzten integralen Hochwasserschutzprojekte haben sich bewährt: In den Kantonen Nidwalden (Engelberger Aa) und Obwalden (Sachseln) konnten beispielsweise grössere Schäden vermieden werden (Schweizer Gemeinde 2006). Das Wissen um Risiken war mitunter lebensrettend. In Weggis war die Rutschgefahr bekannt. Frühzeitig wurden mehrere Häuser evakuiert.

Kurze Zeit später rutschte der Hang ab. Drei Häuser wurden zerstört, aber es kamen keine Menschen zu Schaden.

Will man künftig einer Zunahme von Schäden aus Extremereignissen vorbeugen, so sind primär raumplanerische Massnahmen zu treffen. Der Umsetzung der Gefahrenkarten in der Nutzungsplanung der Gemeinden kommt daher höchste Bedeutung zu. Gefährdete Räume sind wenn immer möglich zu meiden. Ist dies nicht möglich, so ist mit Objektschutzmassnahmen sicher zu stellen, dass bei einem Ereignis möglichst kein Schaden auftritt. In bestehenden Siedlungsgebieten können die Risiken nicht allein durch raumplanerische Massnahmen reduziert werden. In vielen Fällen werden technische Schutzmassnahmen unumgänglich sein. Einen absoluten Schutz vor Naturgefahren wird es aber nie geben. Es wird immer Ereignisse geben, die die Dimensionierungswerte übersteigen (Überlastfall). Mit einer geeigneten Notfallplanung können jedoch die Restrisiken weiter reduziert und der Schutz der Bevölkerung erhöht werden.

Die Umsetzung der Gefahrenkarten in der Nutzungsplanung der Gemeinden ist für den Schutz vor Naturgefahren von grosser Bedeutung.

5.2.3 Anpassungsmassnahmen im Tourismus

5.2.3.1 Einsatz von Beschneiungsanlagen in Skigebieten

Die Anzahl Beschneiungsanlagen ist ein Indiz für die Anpassung der Tourismusbranche an die abnehmende Schneesicherheit im Alpenraum. Die nachfolgenden Angaben beruhen auf Schätzungen der Internationalen Alpenschutzkommission (CIPRA 2004) sowie auf Angaben des Verbandes Seilbahnen Schweiz (Seilbahnen Schweiz 2006).

Die Produktion einer 20 cm dicken Schneeschicht auf einer Fläche von einer Hektare (100 x 100m) erfordert ca. 800 Tonnen Wasser und sehr viel Energie (ca. 2,8 kWh pro m² beschneite Fläche). Um der Wasserknappheit vorzubeugen, erstellen viele Skigebiete Speicheranlagen (Müller und Weber 2007). Damit, sowie mit der Einebnung künstlich beschneiter Flächen, können bedeutende Eingriffe in das Landschaftsbild und die lokale Vegetation verbunden sein.

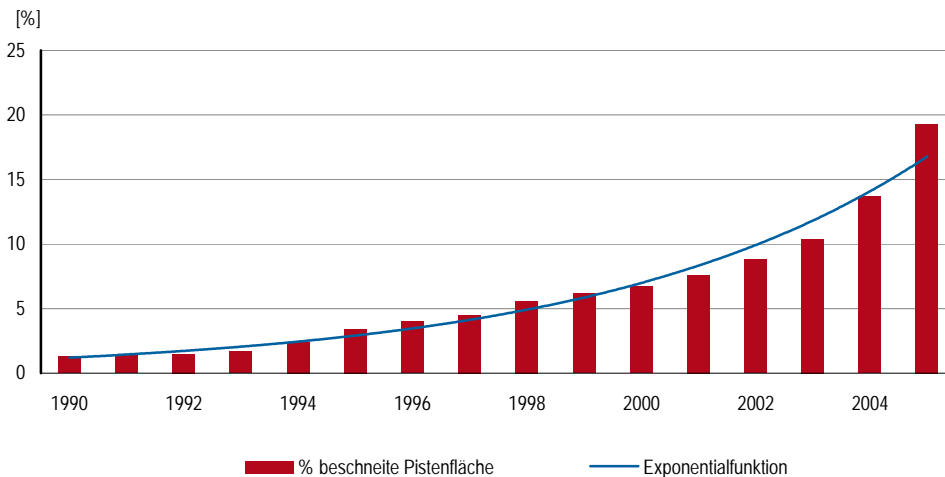
Laut CIPRA sind in der Schweiz bis 2004 mehr als CHF 500 Mio. in Beschneiungsanlagen investiert worden. Der Verband Seilbahnen Schweiz beziffert den Investitionsbedarf für das Erstellen weiterer Beschneiungsanlagen auf CHF 800 Mio. Die Kosten für die Beschneigung vom 1 km Piste belaufen sich auf rund CHF 1 Mio. pro Wintersaison.

2005 wurden in der Schweiz rund 4200 Hektar bzw. 19 % der präparierten Pisten künstlich beschneit. Dies entspricht mehr als einer Verdoppelung gegenüber dem Stand von 2002 (Abb. 56). In den nächsten Jahren wird mit einer weiteren starken Zunahme gerechnet.

Die beschneibare Pistenfläche in der Schweiz entwickelt sich seit 1990 exponentiell.

Abb. 56 > Entwicklung der beschneibaren Pistenfläche in Prozent der Gesamtpistenfläche (1990–2005).

Die beschneibare Pistenfläche in der Schweiz in Prozent der Gesamtpistenfläche entwickelt sich seit 1990 entsprechend einem exponentiellen Trend.



CIPRA (2004), Seilbahnen Schweiz (2006)

In der Schweiz wird prozentual deutlich weniger Pistenfläche künstlich beschneit, als dies in Österreich oder Italien der Fall ist. Um auf einen vergleichbaren Stand wie Österreich zu kommen, müssten die Schweizer Seilbahnunternehmen rund CHF 1.8 Mia. in Beschneiungsanlagen investieren (Mathis et. al. 2003).

Der Einsatz von Beschneiungsanlagen kann ein geeignetes Mittel sein, um in milden Wintern einen sicheren Skibetrieb zu gewährleisten. Die Schneesicherheit ist für viele Touristen ein wichtiges Kriterium bei der Wahl des Wintersportgebiets (Swissinfo 2007). Die Beschneigung bietet sich vor allem für höhere Lagen an, da die Erzeugung von Kunstschnee Temperaturen unter dem Gefrierpunkt voraussetzt. Angesichts der hohen Kosten und der intensiven Beanspruchung natürlicher Ressourcen stellt sich aber die Frage nach den Grenzen der künstlichen Beschneigung. Bei fortgesetztem Anstieg der Schneesicherheitsgrenze dürften attraktive Alternativen zum Schneesport, vor allem in den tieferen Lagen, auch aus rein kommerziellen Gründen an Bedeutung gewinnen.

5.2.3.2 Sicherung von Berg- und Luftseilbahnen

288 der 1894 Berg- und Luftseilbahnen der Schweiz sind im Permafrost verankert. Aufgrund beobachteter Auftauprozesse wurden in den letzten Jahren bereits Investitionen in neue Verankerungen und die Sanierung von einzelnen Anlagen notwendig. So wurden am Corvatsch im Oberengadin beispielsweise CHF 12 Mio. zur Sicherung der Anlagen investiert. Beispiele für weitere bereits von Auftauprozessen betroffene Skigebiete sind das Schilthorn (Mürren), der Gemsstock (Andermatt), die Diavolezza und der Piz Nair (Engadin) sowie die Bettmeralp und Grächen (Wallis).

Da das Bundesamt für Verkehr (BAV) wegen des schwindenden Permafrosts weitere Berg- und Seilbahnen als problematisch einstuft, prüft es derzeit in Zusammenarbeit mit dem BAFU sämtliche 650 eidgenössisch konzessionierten Anlagen und stuft deren Risikogefährdung ein. Bis Ende 2007 sollen die Gutachten vorliegen.¹⁵ Eine Übersicht der potenziellen Permafrostgebiete, die so genannte Permafrosthinweiskarte, liegt bereits vor (BAFU 2006c). Diese wird den Kantonen zur Verfügung gestellt, damit diese ihre Gefahrenkarten überprüfen und allenfalls anpassen können (Kapitel 5.2.2).

5.2.4 Bewässerung in der Landwirtschaft

Die durch den Klimawandel erwartete Zunahme von Hitze- und Trockenperioden dürfte in Zukunft im Sommer öfter zu einer zeitlich und örtlich beschränkten Verfügbarkeit von Wasser führen (OcCC/ProClim- 2007). In den Sommermonaten ist deshalb vermehrt mit Konflikten um diese knappe Ressource zu rechnen. Neben Landwirten, die ihre Felder bewässern, sind auch die Schifffahrt, der Gewässerschutz, Elektrizitätswerke sowie die Unterlieger-Staaten an einem ausreichenden Wasserstand in den Flüssen interessiert.

Heute bewässern die Landwirte in der Schweiz eine Fläche von rund 40'000 Hektaren. Gemäss Schätzungen des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) wird in Zukunft wahrscheinlich viermal soviel Land bewässert wie heute. Nachdem der Bund 20 Jahre lang ausschliesslich Bewässerungsprojekte in den inneralpinen Trockentälern des Wallis und Südbündens subventionierte, werden seit 2005 auch Beregnungsanlagen in der übrigen Schweiz durch Bundesgelder mitfinanziert. Investitionen in Bewässerungssysteme betragen pro Hektare CHF 10'000 bis 20'000. Allein in den Sommern 2005 und 2006 unterstützte der Bund zehn Beregnungsprojekte im Flachland, die insgesamt CHF 3.6 Mio. kosteten. Zusätzlich zu diesen Projekten wurden ohne Hilfe des Bundes zahlreiche weitere Bewässerungsanlagen erstellt. Um dem zunehmenden Interesse im Bereich der Bewässerung Rechnung zu tragen, hat das BLW 2006 eine Umfrage bei den kantonalen Amtsstellen durchgeführt zu bewässerten Flächen und Kulturen, Wasserverbrauch und Wasserherkunft sowie Bewilligungsverfahren und Kosten für Bewässerungen (Schild 2007).

Der Bewässerungsbedarf, vor allem für die Gemüse- und Obstproduktion, dürfte sich in Zukunft vervierfachen.

Die Bewässerung verbessert die Konkurrenzfähigkeit der Obst- und Gemüseproduktion in der Schweiz gegenüber der starken Konkurrenz aus dem Ausland. Verglichen mit dem durchschnittlichen Regenfall von 600 mm im Schweizer Mittelland, ist der Wasserbedarf vieler Kulturen, die in der Schweiz angebaut werden, mit 400–700 mm relativ hoch (Doorenbos und Kassam 1979) und Produktionsverluste könnten schon auftreten, falls über längere Zeit weniger als 300–500 mm Niederschlag fällt (Allen et al. 1998).

In Zukunft sollen Beiträge des Bundes für Bewässerungsprojekte nicht mehr nur aufgrund der Jahresniederschläge fliessen, sondern auch Trockenperioden mit einbeziehen. Damit können auch Kantone, die aufgrund der bisherigen Praxis leer ausgegan-

¹⁵ Gemäss Auskunft des BAV (Juni 2007).

gen sind, von Subventionen profitieren. Inwiefern der Ausbau von Bewässerungsmassnahmen zur Überbrückung von Trockenperioden sinnvoll, machbar und angesichts der Wasserverfügbarkeit in Trockenjahren möglich ist, bleibt jedoch mit Unsicherheiten verbunden. Um dem steigenden Druck auf die Wasserressourcen standzuhalten, sollte deshalb vermehrt auch auf die Effizienz der eingesetzten Bewässerungstechniken und die geeignete Wahl der angepflanzten Kulturen geachtet werden (OcCC/ProClim-2007).

5.2.5 Anpassung der Waldbewirtschaftung

Die Schweiz ist heute zu knapp einem Drittel bewaldet. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ist die Fichte in der Schweiz besonders in tieferen Lagen weit verbreitet. Fichten und Tannen, die rund 40 % der Baumarten im Schweizer Mittelland ausmachen, reagieren sensibel auf erhöhte Temperaturen (Fichte) oder zunehmende Trockenheit (Tanne, Fichte). Gewisse Eichen- und Ahornarten, beispielsweise, ertragen wärmere und trockenere Bedingungen.

Ein naturnaher Mischwald mit einem hohen Anteil an einheimischen Laubhölzern ist deshalb besser an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst als reine oder gemischte Nadelwälder. Eine Auswertung des 1. und 2. Landesforstinventars (1983/85 resp. 1993/95) zeigt, dass der Anteil der Laubmischwälder leicht wächst und der Anteil reiner Nadelwälder sinkt (Tab. 4). Dies ist unter Berücksichtigung ökologischer Kriterien geschehen (Rückführung hin zu naturnahen Baummischungen im Mittelland). Die Tendenz zu einer Abnahme der Nadelwälder im Mittelland dürfte sich inzwischen fortgesetzt haben.¹⁶

Ein Mischwald mit einheimischen Laubhölzern ist besser an die Klimaerwärmung angepasst als ein Nadelwald.

Tab. 4 > Waldfläche nach Mischungsgrad.

Mischungsgrad der Waldfläche (in Prozent) im 1. und 2. Landesforstinventar (1983/85 resp. 1993/95).

	Landesforstinventar 1 (1983/85)	Landesforstinventar 2 (1993/95)
Mischungsgrad (Nadelholzanteil)	%	%
Nadelwald rein (91–100 %)	50,4	46,1
Nadelwald gemischt (51–90 %)	18,6	21,4
Laubwald gemischt (11–50 %)	10,6	13,5
Laubwald rein (0–10 %)	20,3	19,0
Total	100	100

Landesforstinventar, WSL. Die Ergebnisse des 3. Landesforstinventars (2004/06) liegen noch nicht vor.

¹⁶ Die ersten zwei Landesforstinventare zeigen den Stand 1983/85 und 1993/95. Die Erhebungen zum dritten Landesforstinventar liefern von 2004 bis 2006; erste Ergebnisse werden Ende 2007 erwartet.

Die Bewirtschaftung der Wälder wird in Zukunft vermehrt veränderte Klimaparameter in Betracht ziehen müssen. Regionale Beispiele weisen bereits auf erste Anpassungsvorgänge hin.

- > Der Einfluss des Klimas hat sich in den vergangenen Jahren in den Sturmschäden und hohen Borkenkäferschäden manifestiert. Die Untersuchung der Lotharschäden kommt zum Schluss, dass an den Standort angepasste Baumarten und eine Baumartenmischung mit einem hohen Anteil an Laubholz gefördert werden sollen (Indermühle et al. 2005). Dies dürfte im Hinblick auf eine Anpassung an die Erwärmung generell gelten.
- > In kantonalen Forstdiensten und in Forstbetrieben macht man sich Gedanken über die Anpassung der Wälder an die Veränderung des Klimas. Im Forstbetrieb der Stadt Baden zum Beispiel sollen die Eichen gefördert und der Anteil gefährdeter Bäume, v.a. die Fichten, zurückgenommen werden. So können Wälder entstehen, in denen standortgerechte Arten nicht von an den Klimawandel besser angepassten Exoten verdrängt werden (Stadt Baden 2005). Andernorts passiert genau dies: Es wird auch die vermehrte Pflanzung von Douglasien in Betracht gezogen, einer nordamerikanischen Nadelbaumart, welche immerhin schon seit mehr als hundert Jahren in unseren Wäldern anzutreffen ist.
- > Im Wallis schwächen heisse, trockene Sommer die Föhren und führen zu erhöhter Mortalität, besonders in tieferen Lagen unterhalb von 1200 m. ü. M. Die Absterbedynamik der Föhrenwälder kann durch Entfernen von befallenen Föhren, Insektenfang und Durchforstung nur geringfügig beeinflusst werden. An Stelle der Föhre keimt und wächst die ursprünglich vorhandene, besser ans trockenere Klima angepasste Flaumeiche. Weil diese nicht mehr überall vertreten ist und Samen spendet, sollte sie vom Forstdienst eingebracht werden, damit der Wald mit seiner Schutzfunktion erhalten bleibt (WSL 2006).
- > Nicht nur im Wallis, auch im Engadin gibt es Ungewissheiten über die Waldentwicklung. Die typischen Arven- und Lärchenwälder könnten gefährdet sein. Insbesondere wird ein vermehrtes Auftreten von Waldbränden befürchtet.

6 > Ausblick

Der vorliegende Bericht illustriert die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen Klima(änderung), Umweltzustand und Gesellschaft im Zeitverlauf anhand von Beispielen, für welche die Daten bereits vorhanden und relativ einfach verfügbar sind. Die Erarbeitung des Berichts hat gezeigt, dass zahlreiche Indizien für die Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz existieren. Allerdings sind die Grundlagen zur Dokumentierung der verschiedenen Glieder in der Wirkungskette vom Menschen als Verursacher des Klimawandels über die Auswirkungen bis hin zu den Aktivitäten zur Beschränkung und Bewältigung dieser Auswirkungen noch sehr heterogen.

Während detaillierte Daten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen vorliegen und im Bereich der meteorologischen, klimatologischen und hydrologischen Daten ein dichtes Messnetz besteht, gibt es bisher kaum systematische Erhebungen zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf Gesellschaft und Wirtschaft. Methodische Probleme und das zeitliche Auseinanderklaffen zwischen Ursachen und Auswirkungen sind mögliche Gründe dafür. Zum Teil dürfte dieser Sachverhalt aber auch damit zusammenhängen, dass die Sensibilität für den Stellenwert der klimapolitischen Früherkennung noch gering ist. Die Beurteilung des Handlungsbedarfs bedingt aber geeignete Entscheidungsgrundlagen. Es ist darum wichtig, dass die systematische Erfassung relevanter Daten dort auf- und ausgebaut wird, wo bedeutende Lücken bestehen.

Auch die Dokumentation des Umgangs mit den Auswirkungen des Klimawandels steckt erst in den Anfängen. Leistungsfähige Monitoringsysteme sind eine notwendige Voraussetzung für die Massnahmenevaluation und Erfolgskontrolle sowie für die Vermeidung von Fehlentwicklungen. Zur Wahrnehmung dieser Aufgaben sollte die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen betroffenen Fachstellen bei Bund und Kantonen in Zukunft intensiviert werden.

Im Interesse des effizienten Ressourceneinsatzes und der Vergleichbarkeit sind die Erhebungen auf bestehende Instrumente der Umweltbeobachtung auf nationaler und internationaler Ebene abzustimmen. Die Resultate sind einem möglichst breiten Kreis potenzieller Nutzer in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zugänglich zu machen. Zu diesem Zweck ist auch vorgesehen, diese Publikation periodisch in erweiterter und aktualisierter Form neu aufzulegen.

> Verzeichnisse

Abkürzungen

BAFU

Bundesamt für Umwelt

BAG

Bundesamt für Gesundheit

BAV

Bundesamt für Verkehr

BFE

Bundesamt für Energie

BFS

Bundesamt für Statistik

BIP

Bruttoinlandprodukt

BLW

Bundesamt für Landwirtschaft

CH₄

Methan

CHF

Schweizer Franken

CO₂

Kohlendioxid

CO₂ eqCO₂-Äquivalent**EBF**

Energiebezugsfläche

EU

Europäische Union

FSME

Frühsommer-Meningoenzephalitis (Zecken-Enzephalitis)

GWP

Global Warming Potential

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

KVA

Kehrichtverbrennungsanlage

LFI

Landesforstinventar

LSVA

Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe

MeteoSchweiz

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie

Mia.

Milliarde

Mio.

Million

m.ü.M.

Meter über Meer

N₂O

Lachgas

OcCC

Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung

ppm

Parts per million

ProClim-

Forum für Klima und globale Umweltveränderungen der schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften

THG

Treibhausgas

UNFCCC

United Nations Framework Convention on Climate Change

UVEK

Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

WSL

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Abbildungen

Abb. 1	Tatsächliche Temperaturentwicklung in Europa im Vergleich zu Klimamodellierungen.	11	Abb. 17	Jahresmitteltemperaturen in der Schweiz 1900–2006.	30
Abb. 2	CO ₂ -Konzentration und Temperaturen in der Antarktis.	12	Abb. 18	Die wärmsten Jahre seit 1900.	31
Abb. 3	Wirkungskette und Ausmass der Unsicherheit.	15	Abb. 19	Sommertemperaturen 1961–2006.	32
Abb. 4	CO ₂ -Emissionen 1950–2002.	17	Abb. 20	Wintertemperaturen 1961–2006.	32
Abb. 5	CO ₂ -Emissionen für ausgewählte Länder 1990–2002.	18	Abb. 21	Tagesmaxima zwischen 1961 und 2006.	33
Abb. 6	Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990–2005.	20	Abb. 22	Tagesminima zwischen 1961 und 2006.	33
Abb. 7	Treibhausgasemissionen der Haushalte und Heizgradtage 1990–2005.	21	Abb. 23	Hitzetage 1961–2006.	34
Abb. 8	Jährliche Veränderungsrate Treibhausgasemissionen und BIP Industrie 1990–2004.	22	Abb. 24	Frosttage 1961–2006.	34
Abb. 9	Treibhausgasemissionen des Verkehrs 1990–2005.	23	Abb. 25	Tropennächte 1961–2006.	34
Abb. 10	Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs und Verkehrsleistung 1990–2004.	24	Abb. 26	Tautage seit 1961 auf dem Säntis und dem Jungfrauoch.	35
Abb. 11	Treibhausgasemissionen nach Gasen 1950, 1990 und 2005.	25	Abb. 27	Intensive Niederschläge Winter.	36
Abb. 12	Treibhausgasemissionen und Bevölkerung.	26	Abb. 28	Intensive Niederschläge Frühling.	36
Abb. 13	Treibhausgasemissionen und Bruttoinlandprodukt.	26	Abb. 29	Intensive Niederschläge Sommer.	36
Abb. 14	Treibhausgasemissionen und Endenergieverbrauch.	26	Abb. 30	Intensive Niederschläge Herbst.	36
Abb. 15	CO ₂ -Emissionen pro Haushalt im internationalen Vergleich.	27	Abb. 31	Schneehöhe 1961–2006.	37
Abb. 16	CO ₂ -Emissionen pro Kopf im Ländervergleich (Stand 1995).	29	Abb. 32	Tage mit Schnee 1961–2006.	37
			Abb. 33	Mittlere Massenbilanz alpiner Gletscher von 1967 bis 2005.	39
			Abb. 34	Kumulative Längenänderung dreier Gletscher von 1879 bis 2005.	39

Abb. 35	Auftauschicht von 1987 bis 2006.	40	Abb. 52	Energiebezugsfläche von MINERGIE- und MINERGIE-P-Gebäuden.	61
Abb. 36	Permafrost-Temperatur von 1987 bis 2007.	40	Abb. 53	Kantonale Förderprogramme.	62
Abb. 37	Wasserhaushalt der Schweiz von 1901 bis 2005.	41	Abb. 54	CO ₂ -Einsparungen aus Förderbeiträgen.	63
Abb. 38	Wassertemperatur zweier Fliessgewässer.	42	Abb. 55	Realisierungsgrad der Gefahrenkarten für Sturzprozesse, Rutschprozesse, Lawinen und Hochwasser.	65
Abb. 39	Anzahl Stunden nach Temperaturklassen von 1976 bis 2005.	43	Abb. 56	Entwicklung der beschneibaren Pistenfläche in Prozent der Gesamtpistenfläche (1990–2005).	67
Abb. 40	Bachforellenfänge und Wassertemperaturen.	44			
Abb. 41	Eisbedeckung Schweizer Seen von 1901 bis 2005.	45			
Abb. 42	Beginn der Blütezeit der Kirschbäume in Liestal 1950–2007.	46	Tabellen		
Abb. 43	Wintertemperaturen und Auftreten der Hanfpalme in der Südschweiz.	48	Tab. 1	Wichtigste Indikatoren und Aussagen zu Ursachen, Auswirkungen und Massnahmen.	9
Abb. 44	Heiztage für ausgewählte Stationen 1961–2006.	50	Tab. 2	Die wichtigsten emissionswirksamen Massnahmen.	55
Abb. 45	Kühltage für ausgewählte Stationen 1961–2006.	50	Tab. 3	Stand der Zielerreichung: Verbrauchsziel neue Personenwagen.	59
Abb. 46	Neuschneesummen Winter 1955–2006.	51	Tab. 4	Waldfläche nach Mischungsgrad.	69
Abb. 47	Schneehöhen an Weihnachten im Wintersportort Müren.	51	Literatur		
Abb. 48	Bekannte Endemiegebiete der Zecken-Enzephalitis (FSME) in der Schweiz.	52	Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998: Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organisation of the United Nation (FAO), Rome.		
Abb. 49	Schäden durch Hochwasser und Rutschungen 1972–2006.	54	auto-schweiz 2003/2004/2005/2006/2007: Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoffnormverbrauchs von Personenwagen. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.		
Abb. 50	Stand der Zielerreichung: Kyoto-Protokoll und CO ₂ -Gesetz.	58	Bader S., Bantle H. 2004: Das Schweizer Klima im Trend. Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864–2001. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz, Vol. 68.		
Abb. 51	Verkauf von Neuwagen nach Energieeffizienz kategorien.	60			

BAFU (in press): Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2006a: Gefahrenkarte: Realisierungsgrad. ShowMe, Stand Januar 2006. Datei der Abteilung Gefahrenprävention (nicht publiziert). Bundesamt für Umwelt.

BAFU 2006b: Gefahrenkarten sind in jedem Fall billiger als Schäden zu beheben. Interview mit R. Loat. Fokus Mai/Juni 2006. Bundesamt für Umwelt.

www.bafu.admin.ch/dokumentation/fokus/00117/index.html?lang=de [22.06.2007]

BAFU 2006c: Übersicht über die potenzielle Permafrostverbreitung in der Schweiz. Medienmitteilung vom 28.7.2006. Bundesamt für Umwelt. www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=6416 [03.07.2007]

BAFU 2007a: Einteilung der Hauptemittenten gemäss BAFU-interner Systematik. Bundesamt für Umwelt.

BAFU 2007b: Treibhausgasinventar der Schweiz. Übersicht 1990–2005. www.bafu.admin.ch/klima/00503/00505/index.html?lang=de [22.06.07]

BAFU 2007c: Abflussdaten, interne Analysen BAFU, Abteilung Hydrologie, Bern 2007.

BAFU 2007d: Naturgefahren, Prävention zahlt sich aus. Umwelt 2/2007. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU/BFS 2007: Umwelt Schweiz 2007, DIV-1024-D. Bundesamt für Umwelt/Bundesamt für Statistik. Bern/Neuenburg.

BAFU/WSL 2007: Ereignisanalysen Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Umweltwissen Nr. 0707. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.

BAG 2007: Zeckenzephalitis (FSME) in der Schweiz. Verbreitung der Endemiegebiete. Mitteilung von H.-P. Zimmermann (Sektion Impfungen) an INFRAS. Bundesamt für Gesundheit. 30.05.2007.

Begert M., Schlegel T., Kirchofer W. 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. Int. J. Climatol. 25, 65–80.

Berger S., Walther G.-R. 2004: Detektion und Verifikation von klimainduzierten Vegetationsänderungen. Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland: Ergebnisse und Dokumentation des Auftaktworkshops. BfN-Skripten 131: 32–34.

Berger S., Walther G.-R. 2006a: Distribution of evergreen broad-leaved woody species in Insubria in relation to bedrock and precipitation. Bot. Helv. 116: 65–77.

Berger S., Walther G.-R. 2006b: Von Einzelarten zu Pflanzengesellschaften – sind Änderungen durch den Klimawandel zu erwarten? Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II: Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops. BfN-Skripten 180: 38–44.

BFE 2002: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2001.

BFE 2003: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2002.

BFE 2004a: Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen, Perspektiven bis 2035. Bundesamt für Energie. Bern.

BFE 2004b: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2003.

BFE 2005: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2004.

BFE 2006a: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005. Bundesamt für Energie. Bern.

BFE 2006b: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2005.

BFE 2007a: Wirkungsanalyse EnergieSchweiz 2006: Wirkungen der freiwilligen Massnahmen und der Förderaktivitäten von EnergieSchweiz auf Energie, Emissionen und Beschäftigung.

BFE 2007b: Globalbeiträge an die Kantone nach Art.15EnG: Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme Ergebnisse der Erhebungen 2006 (provisorische Ergebnisse, Stand 14.06.2007).

BFE 2007c: Die Energieperspektiven 2035, Band 1, Band 2 und Band 3.

BFS 2005: Treibhausgasemissionen der Wirtschaftsbranchen. Pilot-NAMEA für die Schweiz 2002. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel.

BFS 2007a: Schweizerische Verkehrsstatistik. Daten Personen- und Güterverkehr. Bundesamt für Statistik. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/05.html [15.05.2007].

BFS 2007b: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Bundesamt für Statistik. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/volkswirtschaft/volkswirtschaftliche/blank/kennzahlen/bjp_gemaess_produkionsansatz.html [22.06.2007]

BUWAL 1995: Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.

CIPRA 2004: Künstliche Beschneigung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht.
www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11/?searchterm=Beschneigung. [22.06.2007]

Doorenbos J., Kassam A.H. 1979: Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Ecoplan et. al 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – nationale Einflüsse, Bern.

EnergieSchweiz 2006: Ein Programm mit Wirkung: 5. Jahresbericht EnergieSchweiz 2005/2006. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.

EPICA Community Members 2004: Eight glacial cycles from an Antarctic ice core, *Nature*, 429, 623–628.

Facts online 2007: Die grosse Gier nach Wasser. Schaffner D. und H. Bundi. www.facts.ch/dyn/magazin/schweiz/747211.html [11.06.2007]

Franssen Hendricks H.J., Scherrer S.C (in press): Freezing of lakes on the Swiss Plateau in the period 1901–2006, *International Journal of Climatology*.

Haerberli W., Cihlar J., Barry R.G. 2000: Glacier monitoring within the Global Climate Observing System. *Annals of Glaciology*, 31: p. 241–246.

Hari R.E., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H. 2006: Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology*, 12: 10–26.

Hoelzle M., Dischl M., Frauenfelder R. 2000: Weltweite Gletscherbeobachtung als Indikator der globalen Klimaänderung. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 145/1, 5–12.

Hope C. 2005: Integrated assessment models, in Helm (ed.): *Climate change policy*, Oxford, Oxford University Press, pp 77–98.

Indermühle M., Raetz P., Volz R. 2005: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. *Umwelt-Materialien Nr. 184*. BUWAL, Bern. 145 S.

INFRAS et al. 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – internationale Einflüsse, Zürich.

IPCC 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York.

IPCC 2007b: *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*.

Jakob A., Pfammatter F., Schädler M. 2007: Veränderungen der Temperaturen in Fließgewässern 1976–2005. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz; Tafel 7.7*. Bundesamt für Umwelt. Bern.

Jungbluth N., Steiner R., Frischknecht R. 2007: Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990–2004. Erweiterte und aktualisierte Bilanz. *Umwelt-Wissen Nr. UW-0711*. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Latenser M., Schneebeli M. 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–1999). *International Journal of Climatology* 23: 733–750.

Mathis P., Siegrist D., Kessler R. 2003: Neue Skigebiete in der Schweiz.

MeteoSchweiz 2005: Phänologische Beobachtungen seit 1808. www.meteoschweiz.ch/web/de/klima/klimaentwicklung/phaenologie.htm [22.06.2007]

MeteoSchweiz 2007: Meteorologische Daten für die Schweiz. Sendungen von MeteoSchweiz an BAFU, nicht publiziert.

MINERGIE 2006: MINERGIE-Statistik. <http://www.minergie.ch> [25.06.2007]

Müller H., Weber F. 2007: *Klimaänderung und Tourismus: Szenarien für das Berner Oberland 2030*. Bern.

NOAA 2007: Earth System Research Laboratory. National Oceanic & Atmospheric Administration. www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/co2_mm_mlo.dat [20.06.2007]

OcCC/ProClim- 2007: *Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern.

OECD 2004: *The benefits of climate change policies*, OECD Paris.

Permafrost Monitoring Switzerland 2007: Daten bereitgestellt durch M. Hoelzle, Universität Zürich, www.permos.ch.

PERMOS 2005: *Permafrost der Schweizer Alpen 2002/03 und 2003/04. Wissenschaft und Bergwelt, Die Alpen*, 10/2005.

Peter A. 1998: Interruption of the river continuum by barriers and the consequences for migratory fish. In: *Fish Migration and Fish Bypasses* (eds Jungwirth M, Schmutz S, Weiss S). Fishing News Books, Oxford.

- Randolf S.E., Rogers D.J. 2000: Fragile transmission cycles of tick-borne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change. *The Royal Society* 267:1741–1744.
- SATW 2006: Road Map Erneuerbare Energien Schweiz, Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050, Schweizer Akademie der Technischen Wissenschaften.
- Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M. 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi:10.1029/2004GL020255.
- Schild A. 2007: Persönliche Kommunikation von Andreas Schild (BLW) an INFRAS, 15.6.2007.
- Schmidli J., Frei C. 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int. J. Climatol.* 25, 753–771.
- Schmidli J., Schmutz C., Frei C., Wanner H., Schär C. 2002: Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century. *Int. J. Climatol.* 22, 1049–1074.
- Schweizer Gemeinde 2006: Wichtige Aufgaben der Nutzungsplanung. R. Camenzind und R. Loat.
- SCNAT/SATW 2007: Energieressourcen: Zahlen und Fakten: Nutzung, Potenziale und Risiken verschiedener Energieressourcen in der Schweiz, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT.
- Seilbahnen Schweiz 2006: Fakten und Zahlen 2006.
- Seiz G., Foppa N. (in press): Nationales Klima-Beobachtungssystem der Schweiz (GCOS Schweiz). Veröffentlichungen der MeteoSchweiz.
- Siegenthaler U., Stocker T.F., Monnin E., Lüthi D., Schwander J., Stauffer B., Raynaud D., Barnola J.-M., Fischer H., Masson-Delmotte V., Jouzel J. 2005: Stable carbon cycle-climate relationship during the Late Pleistocene, *Science*, 310, 1313–1317.
- Stadt Baden 2005: «Klimawanderungen. Klima und Wald früher – heute – morgen.»
www.klimawanderungen.ch/downloads/Klimadossier_Erwachsene.pdf
[2206.2007]
- Swiss Confederation 2005: Switzerland's Fourth National Communication under the UNFCCC/First National Communication under the Kyoto Protocol to the UNFCCC 2005.
- Swissinfo 2007: Schneekanonen – ein löchriger Wasserkreislauf.
www.swissinfo.org/ger/swissinfo.html?siteSect=881&sid=7732959
[20.04.2007]
- Walther G.-R. 2004: Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6: 169–185.
- Walther G.-R. 2006: Palmen im Wald? Exotische Arten nehmen in Schweizer Wäldern bei wärmeren Temperaturen zu. *Forum für Wissen:* 55–61.
- Walther G.-R., Gritti E., Hickler T., Berger S., Tang Z., Sykes M.T. 2007: Palms tracking climate change. *Global Ecology & Biogeography*, published online early.
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. 2002: Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.
- WGMS 2007: World Glacier Monitoring Service. www.wgms.ch
[22.06.2007]
- World Resources Institute 2007: Climate Analysis Indicators Tool.
<http://cait.wri.org/> [10.05.2007]
- WSL 2006: Verdrängen Flaumeichen die Walliser Waldföhren? Merkblatt für die Praxis 41. WSL, Birmensdorf.
- WSL 2007: Unwetterschadensdatenbank, nicht publiziert.
- Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M., Maisch M., Paul F. 2007: Europäische Alpen bald ohne Gletscher? *Jahrbuch der Ökologie*, 2008, 68–83.
- Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M., Paul F. 2006: Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters*, 33.