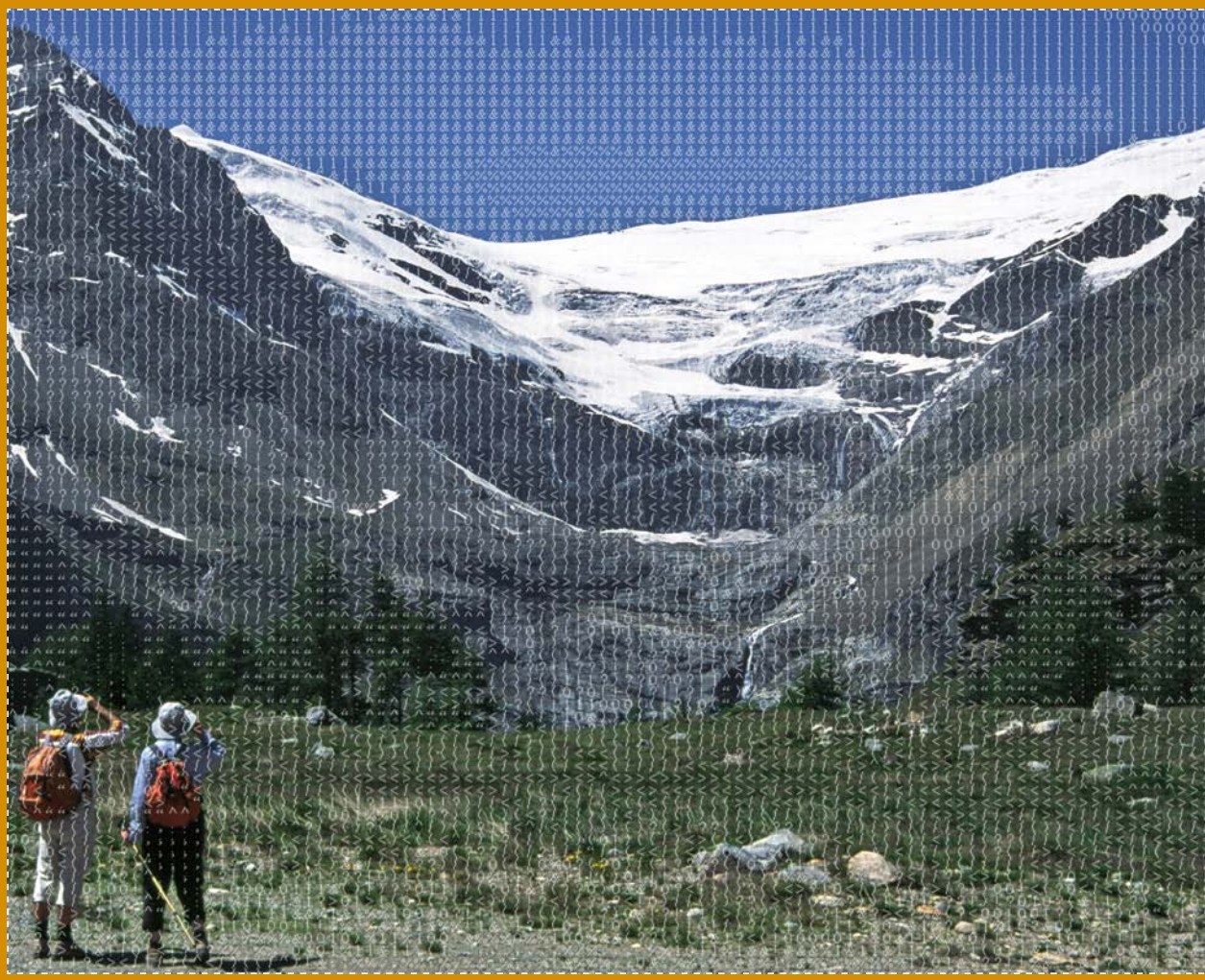
> Klimaänderung in der Schweiz

Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

> Klimaänderung in der Schweiz

Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU und vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz
Bern, 2013

Impressum

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)
MeteoSchweiz ist ein Amt des Eidg. Departements des Innern (EDI).

Projektleitung
Marjorie Perroud und Mischa Croci-Maspoli

Autoren
Marjorie Perroud und Stephan Bader

Beiträge von Mitarbeitenden
Bundesamt für Umwelt,
Abteilung Klima: Thomas Bucheli, Paul Filliger, Isabel Junker, Roger Nufer, Regine Röthlisberger, Andreas Schellenberger, Simone von Felten
Abteilung Wasser: Hugo Aschwanden
Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften: Gian-Reto Walther
Abteilung Wald: Sabine Augustin, Paolo Camin
Abteilung Hydrologie: Vanessa Aellen, Ronald Kozel, Petra Schmocker, Marc Schürch

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie,
Abteilung Klima: Regula Gehrig, Simon Scherrer, Mischa Croci-Maspoli, Christof Appenzeller, Heike Kunz, Thomas Schlegel, Christoph Spirig, Mark Liniger
Abteilung Bodendaten: Thomas Herren

Bundesamt für Landwirtschaft: Andreas Schild

Schweizerische Vogelwarte: Niklaus Zbinden

Universität Neuenburg, Parasitologie: Lise Gern

Universität Zürich, Glaciology, Geomorphodynamics & Geochronology: Jeannette Nötzli

Externer Beitrag: Isabel Dietrich

Zitierung
Perroud M. und Bader S. 2013: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 1308. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Zürich, 86 S.

Übersetzung
Dominique Berthet Alcaraz, Jaqueline Dougoud und Sprachdienst BAFU

Grafik und Gestaltung
upart, Bern, Laurence Rickett

Titelfoto
Palügletscher im Berninamassiv, © E. Ammon, AURA

PDF-Download
www.bafu.admin.ch/uz-1308-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich.

© BAFU 2013

> Inhalt

> Abstracts **5**
> Vorwort **7**
> Zusammenfassung **9**

1 Einführung **10**
1.1 Beobachtete Veränderungen des Klimas 10
1.2 Klimaszenarien für die Schweiz 10
1.3 Auswirkungen des Klimawandels 11

2 Klimaänderung: Die Wirkungskette **13**
2.1 Das DPSIR-Modell 13
2.2 Die Klimaindikatoren 13

3 Klimaänderung in der Schweiz: von den Ursachen zu den Massnahmen **15**
3.1 Treibhausgasquellen 15
3.1.1 Sektor Verkehr 15
3.1.2 Sektor Haushalte 17
3.1.3 Sektor Industrie 19
3.1.4 Sektor Dienstleistungen 20
3.1.5 Sektor Landwirtschaft 20
3.1.6 Sektor Abfall 22
3.1.7 Nicht fossile Treibhausgasquellen und -senken 23

3.2 Treibhausgasemissionen 25
3.2.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Gas und Sektor 25
3.2.2 Treibhausgasintensität 26
3.2.3 Die Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich 27
3.2.4 CO_2-Emissionen durch Konsum und Produktion der Schweiz 29

3.3 Entwicklung des Klimas in der Schweiz 30
3.3.1 Entwicklung der Temperatur 30
3.3.2 Tagesmaximum- und Tagesminimumtemperaturen 32
3.3.3 Hitze- und Frosttage, Tropennächte und Tautage 33
3.3.4 Entwicklung der Niederschläge 34
3.3.5 Starke Niederschläge 37
3.3.6 Trockenperioden 37
3.3.7 Schneefall und Schneedecke 38
3.3.8 Nullgradgrenze 39
3.3.9 Sonnenscheindauer 39

3.4 Auswirkungen des Klimas auf den Naturraum und auf den Menschen 42
3.4.1 Hydrosphäre 42
3.4.2 Kryosphäre 48
3.4.3 Vegetation und Wald 52
3.4.4 Tierwelt 57
3.4.5 Gesellschaft und Wirtschaft 59

3.5 Massnahmen zur Emissionsverminderung 62
3.5.1 Überblick über emissionsvermindernde Massnahmen 62
3.5.2 Rechtliche Grundlagen 62
3.5.3 Verbrauch und CO_2-Emissionen von neuen Personenwagen 66
3.5.4 Massnahmen im Gebäudebereich 68
3.5.5 Die Entwicklung der neuen erneuerbaren Energien 69

3.6 Übersicht über die Massnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung 72
3.6.1 Anpassung an extreme Naturereignisse 72
3.6.2 Einsatz von Beschneiungsanlagen in Skigebieten 73
3.6.3 Bewässerte landwirtschafliche Nutzfläche 74
3.6.4 Gewässerbewirtschaftung 76
3.6.5 Anpassung der Waldbewirtschaftung 77

4 Fazit **79**

> Fussnoten **80**
> Literaturverzeichnis **82**

> Abstracts

The global climate is changing and, as confirmed by various environmental indicators associated with climate change, Switzerland is particularly affected. With the help of selected examples, this report illustrates the evolution of the climate and its impacts on the cryosphere, hydrosphere, vegetation, health, economy and society. It also indicates the pressure exerted by human activities on the climate and quantifies the resulting greenhouse gas emissions. The main political responses formulated to limit the environmental impacts of climate change and to prevent undesirable developments are also explained.

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

Das Klima der Erde verändert sich, und die Schweiz ist davon besonders betroffen. Das bezeugen diverse Umweltindikatoren, die mit der Klimaerwärmung in Verbindung gebracht werden. Dieser Bericht illustriert anhand einiger ausgewählter Beispiele die Klimaentwicklung sowie deren Auswirkungen auf die Kryosphäre, die Hydrosphäre, die Vegetation, die Gesundheit, die Wirtschaft und die Gesellschaft. Ausserdem wird dargelegt, welchen Druck die menschlichen Aktivitäten auf das Klima ausüben und wie gross die Mengen der daraus resultierenden Treibhausgase sind. Des Weiteren enthält dieser Bericht die wichtigsten politischen Antworten zur Begrenzung der Auswirkungen auf die Umwelt und zur Vorbeugung unerwünschter Entwicklungen.

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

Le climat de la Terre se modifie et la Suisse est particulièrement touchée, c'est ce qu'attestent différents indicateurs environnementaux mis en lien avec le réchauffement climatique. Ce rapport illustre ainsi à l'aide de quelques exemples choisis l'évolution du climat et ses impacts sur la cryosphère, l'hydrosphère, la végétation, la santé, l'économie ou la société. Il indique également quelle est la pression exercée par les activités humaines sur le climat et quantifie les émissions de gaz à effet de serre qui en résultent. Les principales réponses politiques apportées pour limiter les impacts environnementaux et prévenir les évolutions indésirables sont exposées.

Mots-clés:
changements climatiques, réchauffement global, politique climatique, effets, adaptation, indicateur, Suisse

Il clima della Terra sta cambiando e la Svizzera è particolarmente interessata da tale fenomeno. È quanto confermano numerosi indicatori ambientali correlati al riscaldamento climatico. Sulla base di alcuni esempi, il presente rapporto illustra l'evoluzione del clima e i suoi impatti su criosfera, idrosfera, vegetazione, salute, economia o società. Indica altresì qual è la pressione esercitata sul clima dalle attività antropiche e quantifica le emissioni di gas serra che ne conseguono. Infine, passa in rassegna le principali risposte date dalla politica per limitare gli impatti ambientali e prevenire sviluppi indesiderati.

Parole chiave:
cambiamenti climatici, riscaldamento globale, politica climatica, effetti, adattamento, indicatore, Svizzera

> Vorwort

Die Empfindlichkeit der Umwelt gegenüber höheren Temperaturen ist in der Schweiz keine Unbekannte. Zahlreiche Dokumente belegen, dass es auch früher schon Phasen gab, in denen die Alpengletscher sich stark zurückgezogen haben. Die Geschwindigkeit jedoch, mit der die Veränderungen in den letzten Jahrzehnten ablaufen, sowie die Anzahl der Bereiche, die nun von den Folgen der Klimaänderung betroffen sind, erreichen ein bisher unbekanntes Ausmass. Diese subtilen Veränderungen, die häufig unumkehrbar sind, beeinflussen unseren Alltag zusehends. Als Ursache dieser globalen Problematik nennt der Zwischenstaatliche Sachverständigenrat für Klimaänderungen (IPCC) die durch den Menschen verursachte Zunahme der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre.

Mit der wachsenden Weltbevölkerung und dem steigenden Energiebedarf werden ohne Gegenmassnahmen die Treibhausgasemissionen weiterhin zunehmen. Angesichts der Tatsache, dass die Klimagase mehrere Jahrzehnte in der Atmosphäre verweilen, wird die Klimaänderung fortschreiten und sich weiter verstärken. Zum Glück sind sich in den letzten Jahren weltweit sowohl Einzelpersonen als auch Wirtschaft und Politik der offensichtlichen Auswirkungen und der möglichen Folgen der Klimaänderungen bewusst geworden. Heute ist die Dringlichkeit international koordinierten Handelns nicht mehr in Frage gestellt, und zahlreiche Initiativen für den Klimaschutz befinden sich in Umsetzung.

Die Schweiz weiss um diese Bedeutung und die weltweite Besorgnis. Sie strebt daher eine nachhaltige Energie- und Klimapolitik an, indem sie sich auf eine Reduktion der Emissionen der Treibhausgase konzentriert. Seit einiger Zeit stellt sich die Schweizer Klimapolitik noch einer weiteren Herausforderung: Sie befasst sich mit innovativen politischen Lösungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, und passt existierende Rahmenbedingungen an. Um geeignete wirtschaftliche und politische Anpassungen vornehmen zu können, müssen die schädlichen Folgen der Klimaänderungen früh genug nachgewiesen und die Wirksamkeit der getroffenen und vorgesehenen Massnahmen evaluiert werden. Der vorliegende Bericht betrachtet die unmittelbaren und langfristigen Auswirkungen der Klimaänderungen eingehend und belegt nicht nur das Vorhandensein von Klimaeffekten auf die Umwelt, sondern gibt auch Hinweise, wo künftig Anpassungsmassnahmen notwendig werden.

Bruno Oberle
Direktor
Bundesamt für Umwelt
(BAFU)

Christian Plüss
Direktor
Bundesamt für Meteorologie
und Klimatologie
(MeteoSchweiz)

> Zusammenfassung

Das Klima auf der Erde ist nicht statisch und verändert sich langfristig immer wieder, wobei es zwischen extremen Warm- und Kaltzeiten variiert. Innerhalb dieser Perioden weisen die Klimabedingungen eine grosse natürliche Variabilität auf, weshalb Wetterkapriolen nicht unbedingt in jedem Fall als Indiz für einen Klimawandel gedeutet werden dürfen. Das Klima hat sich seit dem Ende der letzten Eiszeit vor 10 000 Jahren verändert. Seit 30 bis 40 Jahren wird ein starker Temperaturanstieg beobachtet. Klimatologen halten diesen Zeitraum für genügend lang, um ihn von kurzfristigen meteorologischen Ereignissen abzugrenzen. Die Schwankungen und die Veränderungen der meteorologischen Messdaten zeigen, dass sich das heutige Klima von demjenigen zu Beginn des 20. Jahrhunderts unterscheidet, aber auch, dass der Wechsel extrem rasch erfolgte. Im Unterschied zu den früheren Ereignissen reicht die natürliche Klimavariabilität nicht aus, um diesen abrupten Wandel zu erklären. Das zunehmend warme Klima, das seit 30 bis 40 Jahren herrscht, wird heute den menschlichen Einflüssen zugeschrieben. Dieser Sachverhalt wird inzwischen nicht mehr bestritten.

In der Schweiz sind die anthropogenen Einflüsse auf das Klima zu einem sehr grossen Teil in den CO_2-Mengen begründet, die im Zuge der Deckung des Energiebedarfs ausgestossen werden. Diese Entwicklung nahm ihren Anfang in den 1950er-Jahren, hauptsächlich infolge der explosionsartigen Zunahme des Strassenverkehrs und der boomenden Wirtschaft. Seit 1980 scheinen sich die Gesamtemissionen von CO_2 und der anderen Treibhausgase schweizweit stabilisiert zu haben. Im Moment ist der Verkehr weiterhin für den Hauptanteil der CO_2-Emissionen verantwortlich, während die Verdauung der Nutztiere und der Düngereinsatz den Hauptanteil der Emissionen von zwei weiteren Treibhausgasen, N_2O- und CH_4, verursacht.

Der weltweite Klimawandel, der auf die anthropogenen Emissionen zurückzuführen ist, ist auch in der Schweiz spürbar. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist seit Messbeginn im Jahr 1864 bis 2011 um 1,7 °C angestiegen. Damit ist der Temperaturanstieg in der Schweiz um 0,6 °C höher als auf den Landoberflächen der Nordhalbkugel. Die Zunahme der Hitzetage oder der Tropennächte oder der Rückgang der Schneebedeckung im Mittelland zeugen ebenfalls von dieser Entwicklung. Demgegenüber ist bei den Niederschlägen keine eindeutige Entwicklung ersichtlich.

Die Klimaänderung, die in der Schweiz seit einigen Jahrzehnten im Gang ist, hat sich auch auf den Naturraum ausgewirkt. Der Rückgang der Gletscher und das Schmelzen des Permafrosts sind die deutlichsten Auswirkungen dieser Veränderungen. Doch die negativen Einflüsse betreffen auch andere Lebensräume: Die Seen und Flüsse erwärmen sich, ihre Dynamik verändert sich, phänologische Phasen treten früher ein, und es lässt sich eine Migration von Pflanzen aus den Alpen oder aus dem Mittelland feststellen. Andererseits dehnt sich der Verbreitungsraum einiger Vogelarten aus.

Angesichts der heutigen Besorgnis über die Klimaveränderung hat die Schweiz im Sommer 2003 das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Damit engagiert sie sich im weltweiten Bestreben, die Treibhausgasemissionen zu senken. Ziel der Schweiz ist es, in der Verpflichtungsperiode 2008–2012 eine Reduktion der Gesamtemissionen um 8 % gegenüber dem Stand von 1990 (unter Berücksichtigung der Kohlenstoffsenken und des Erwerbs von ausländischen Emissionsminderungszertifikaten) zu erreichen. Dazu wurde das CO_2-Gesetz verabschiedet. Es sieht eine Reduktion der CO_2-Emissionen aus der energetischen Nutzung von fossilen Treib- und Brennstoffen um 10 % vor. Um den gesetzlichen Anforderungen zu genügen, wurden in den verschiedenen sektoriellen Politiken diverse Instrumente eingeführt, die freiwillige Massnahmen begünstigen.

Die nationalen und internationalen Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen können die Erwärmung bestenfalls begrenzen. Auf Grund der langen Verweilzeit der Treibhausgase in der Atmosphäre, werden Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft mit einem verstärkten Temperaturanstieg, häufigeren Hitzeperioden und Veränderungen bei den Niederschlagsmengen konfrontiert werden. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird daher immer wichtiger. Auf dieser Grundlage hat der Bundesrat beschlossen, nebst den existierenden Klimaschutzmassnahmen, eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, zu erarbeiten.

Der vorliegende Bericht bietet deshalb einen Überblick über die zahlreichen Beziehungen zwischen dem Klima und der natürlichen sowie der anthropogen beeinflussten Umwelt. Mithilfe von Indikatoren wird der Druck der menschlichen Aktivitäten auf das Klima veranschaulicht. Der Bericht dokumentiert, wie sich die Quellen dieser Belastungen entwickeln, und zeichnet anhand von Messdaten, die zum Teil über ein Jahrhundert zurückreichen, die Klimaentwicklung nach. Zudem beschreibt er zahlreiche Anzeichen für die Klimaänderung in der Schweiz, die sich auf die Kryosphäre, die Hydrosphäre, die Vegetation, die menschliche Gesundheit, die Wirtschaft und die Gesellschaft auswirken. Um über Entscheidungsgrundlagen zu verfügen, die für die Evaluation von Anpassungsmassnahmen und ihre Erfolgskontrolle notwendig sind, werden weitere Bereiche analysiert und dokumentiert.

1 > Einführung

1.1 Beobachtete Veränderungen des Klimas

Die Schwankungen und Veränderungen des globalen Klimas der letzten Jahrzehnte sind messbar und gut dokumentiert (IPCC 2007a). Solche Veränderungen sind regional unterschiedlich ausgeprägt, und entsprechend können globale Veränderungen nicht direkt auf die Schweiz angewendet werden. Als Beispiel hat sich die mittlere Temperatur der Schweiz seit dem Beginn der Industrialisierung (1864–2011) um 1,7 °C erhöht. Das ist ungefähr ein Drittel höher als der Anstieg der Temperatur auf den Landoberflächen der Nordhalbkugel, der 1,1 °C beträgt. Die Auswirkungen der Temperatur in der Schweiz sind somit stärker als im globalen Mittel. Zudem war in der Schweiz das Jahr 2011 das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen. Veränderungen des Niederschlags in der Schweiz sind mit deutlich höheren Unsicherheiten behaftet. Derzeit können in den Beobachtungen keine signifikanten Trends in Richtung Zunahme oder Abnahme des Niederschlags ausgemacht werden.

Treibhausgase wie Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), beeinflussen massgeblich den Strahlungshaushalt und dementsprechend die Temperaturen auf der Erde. Sie absorbieren einen Teil der Strahlung, die sonst wieder ins Weltall entweichen würde. Der natürliche Treibhauseffekt ist dafür verantwortlich, dass wir auf der Erde Temperaturen haben, die ein Leben überhaupt ermöglichen. Die prägende Rolle des Menschen greift aber immer mehr in diesen natürlichen Prozess ein, indem er grosse Mengen zusätzlicher Treibhausgase freisetzt und damit den Treibhauseffekt verstärkt (= anthropogener Treibhauseffekt). Dieser anthropogene Einfluss und seine Auswirkungen auf die klimatischen Änderungen stehen heute praktisch ausser Zweifel (IPCC 2007a).

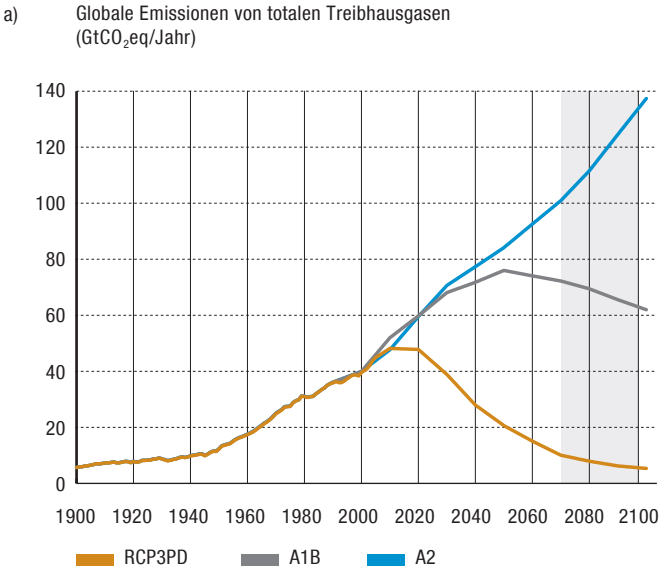
Die Konzentration von CO_2 (als eines der wichtigsten Treibhausgase) in der Atmosphäre ist als Folge von menschlichen Aktivitäten – primär des Verbrauchs fossiler Brenn- und Treibstoffe und Landnutzungsänderungen – von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm (parts per million) im Jahr 1750 auf über 393 ppm im Jahr 2011 angestiegen. Die heutige CO_2-Konzentration übertrifft die aus Eisbohrkernen aus der Antarktis bestimmte natürliche Bandbreite der Werte der letzten 650 000 Jahre (180 bis 300 ppm) bei Weitem (IPCC 2007a). Niemals in dieser Zeit ist die CO_2-Konzentration derart rasch angestiegen wie in den letzten 50 Jahren. Die Analyse von Eisbohrkernen zeigt auch, dass eine hohe CO_2-Konzentration in der Atmosphäre während der analysierten Periode immer eng gekoppelt war mit höheren Umgebungstemperaturen.

1.2 Klimaszenarien für die Schweiz

Eine zentrale Grösse zur Abschätzung des Verlaufs des zukünftigen Klimas ist der globale Ausstoss von Treibhausgasen (im Bericht angegeben in CO_2-Äquivalenten[1]). Dieser ist von der gesellschaftlichen wie auch von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig. Da eine genaue Prognose dieser Entwicklung nicht möglich ist, sind verschiedene Szenarien, die zu unterschiedlichen CO_2-Emissionen führen entwickelt worden. Mithilfe von Klimamodellen werden nun, basierend auf

Abb. 1 > Reaktion des Klimas für drei Szenarien der Treibhausgasemissionen

a) Entwicklung von drei möglichen globalen Szenarien des Treibhausgasausstosses und die entsprechende Reaktion des Klimas auf Temperatur und Niederschlag b) im Winter und c) im Sommer in der Schweiz (CH2011, 2011). Man beachte, dass auch jedes Szenario selber wieder mit Unsicherheiten, behaftet ist. (Grafiken b) und c), siehe Seite 11)



Quelle: CH2011 (2011)

den verschiedenen Emissionsszenarien, mögliche Klimaentwicklungsszenarien gerechnet. Daher lässt sich auch nicht sagen, wie sich die klimatische Zukunft entwickeln wird, sondern nur, wie sie sich nach bestimmten Modellen unter bestimmten Szenarien entwickeln könnte.

Systematische Grundlagen zur zukünftigen Entwicklung des Klimas in der Schweiz sind seit 2007 erhältlich (OcCC/ProClim 2007). Diese Grundlagen wurden Ende 2011 durch die CH2011-Initiative aktualisiert und weiterentwickelt (CH2011, 2011). Die CH2011-Klimaszenarien verwenden neu drei unterschiedliche Emissionsszenarien (Abbildung 1a). Die Emissionsszenarien A1B und A2 gehen von einer weiteren Zunahme der Treibhausgase aus. Das Szenario RCP3PD nimmt an, dass sich durch Interventionsmassnahmen die globalen Emissionen bis 2050 gegenüber 1990 um etwa 50 % senken. Diese Klimaszenarien bilden die Grundlage, um zukünftige Auswirkungen des Klimas auf verschiedene Sektoren beschreiben zu können.

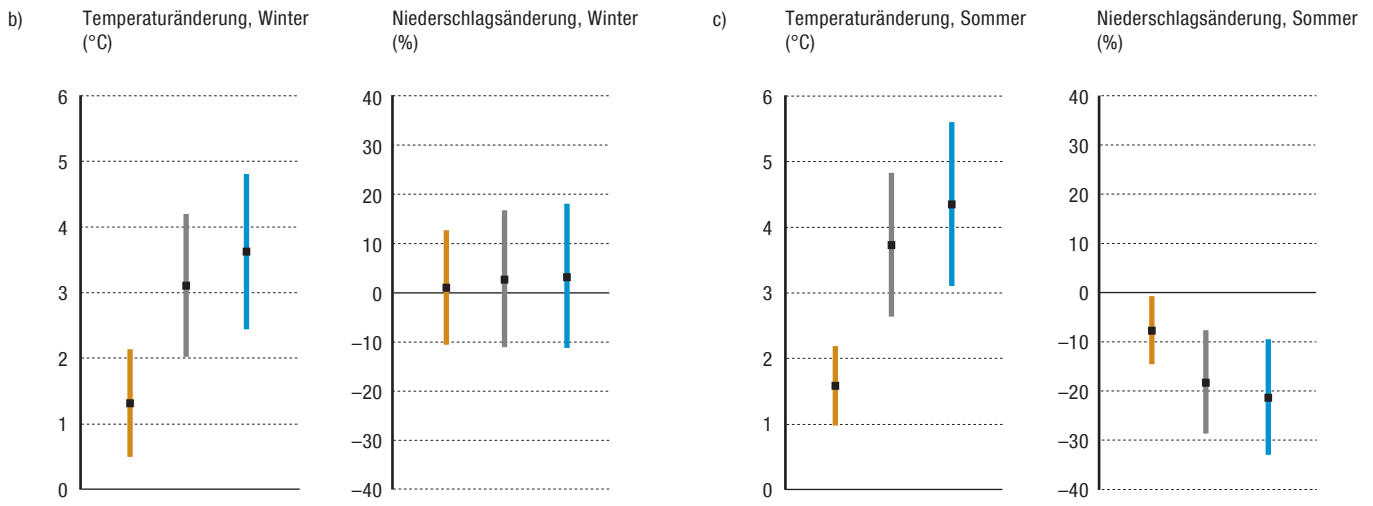
Der CH2011-Bericht fasst die Resultate wie folgt zusammen (Abbildung 1b und 1c):

«Es ist zu erwarten, dass das Klima der Schweiz im Laufe des 21. Jahrhunderts signifikant vom heutigen und vergangenen Zustand abweichen wird. Die Mitteltemperaturen werden sehr wahrscheinlich in allen Regionen und Jahreszeiten ansteigen. Bis Ende des Jahrhunderts dürften die mittleren Niederschlagsmengen im Sommer wahrscheinlich überall in der Schweiz abnehmen, Winterniederschläge in der Südschweiz wahrscheinlich jedoch zunehmen. Gemäss Modellaussagen können Niederschläge in anderen Regionen und Jahreszeiten zu- oder abnehmen. Die Projektionen des zukünftigen Temperatur- und Niederschlagsverlaufs sind konsistent mit vergangenen Messungen.

Zusammen mit diesen Änderungen der mittleren Temperatur und des mittleren Niederschlags ist auch eine Änderung im Charakter von Extremereignissen zu erwarten. Es ist von häufigeren, intensiveren und länger anhaltenden Wärmeperioden und Hitzewellen im Sommer auszugehen, während die Zahl der kalten Wintertage und -nächte vermutlich abnehmen wird. Projektionen der Häufigkeit und Intensität von Niederschlagsereignissen sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet, markante Änderungen können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Zusätzlich wird eine Verschiebung von festem Niederschlag (Schnee) hin zu flüssigem Niederschlag (Regen) erwartet.»

1.3 Auswirkungen des Klimawandels

Heute gibt es überall auf der Welt unzweifelhafte Beweise dafür, dass die Ökosysteme von regionalen Klimaänderungen, und insbesondere vom Temperaturanstieg, betroffen sind. Die beobachtete Erwärmung, die heute menschlichen Einflüssen zugeschrieben wird, trägt insbesondere bei zum Schmelzen der Gletscher, zur Veränderung des Abflussregimes der Fliess-



Quelle: CH2011 (2011)

gewässer, zur Erwärmung des Wassers, zum früheren Einsetzen der Blühperiode, zu längeren Vegetationsperioden oder zur Migration von Pflanzen und Tieren in nördlichere Breiten oder grössere Höhen in zahlreichen Gebieten auf der ganzen Welt (IPCC 2007b).

In der Schweiz betreffen die dokumentierten oder erwarteten Auswirkungen der Klimaerwärmung einerseits die Hydro- und Geosphäre (Wasserkreislauf, Gletscher, Permafrost, Schneedecke), mit potentiell grossen Schadenereignissen (Extremtemperaturen, Dürre, Starkniederschläge, Hochwasser, Erdrutsche und Murgänge) und die Ökosysteme (Flora und Fauna, Wälder). Daneben gibt es weitere klimaempfindliche Sektoren wie Wintertourismus, Energie (Verlust des Produktionsvolumens der Wasserkraftwerke sowie vermehrter Klimatisierungsbedarf) und Gesundheit. Tatsächlich können Hitzeperioden bei Risikogruppen nicht nur thermischen Stress sondern auch Atem- oder Herz-Kreislauf-Beschwerden verursachen. Sie bewirken zudem auch Leistungseinbussen bei der Arbeit (Ecoplan et al. 2007). Andere Sektoren wie die Landwirtschaft können von einer moderaten Klimaerwärmung profitieren, insbesondere wegen der Verlängerung der Vegetationsperiode, sofern der Temperaturanstieg bis 2050 2–3 °C nicht überschreitet. Allerdings könnte sich die Zunahme der Hitze- und Trockenperioden für Landnutzung und Viehhaltung als pro-blematisch erweisen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Schweizer Wirtschaft immer mehr unter den internationalen Einflüssen der Klimaänderung leiden wird und nicht unbedingt nur unter den Auswirkungen auf nationaler Ebene (wesentliche Beeinträchtigung der Handelsflüsse und der Kapitalmärkte [Infras et al. 2007]).

2 > Klimaänderung: Die Wirkungskette

2.1 Das DPSIR-Modell

Die Indikatoren im vorliegenden Bericht sind gemäss einem international anerkannten Ansatz organisiert, der von der Europäischen Umweltagentur erarbeitet wurde (Abbildung 2). Bekannt unter dem Namen DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Responses) erlaubt es dieses Modell, mithilfe konkreter, gut dokumentierter Beispiele die möglichen Ursachen eines Drucks auf die natürliche Umwelt und ihren Zustand darzustellen. Das Modell zeigt auch, inwiefern sich diese Veränderungen des Umweltzustands auf die Ökosysteme, die menschliche Gesundheit, die Wirtschaft und die Gesellschaft auswirken und welche Massnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen dieser Ursachen sowie zur Vorbeugung unerwünschter Entwicklungen ergriffen werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Ergebnisse politischer Strategien oder die erwarteten Wirkungen künftiger Entscheide zu evaluieren.

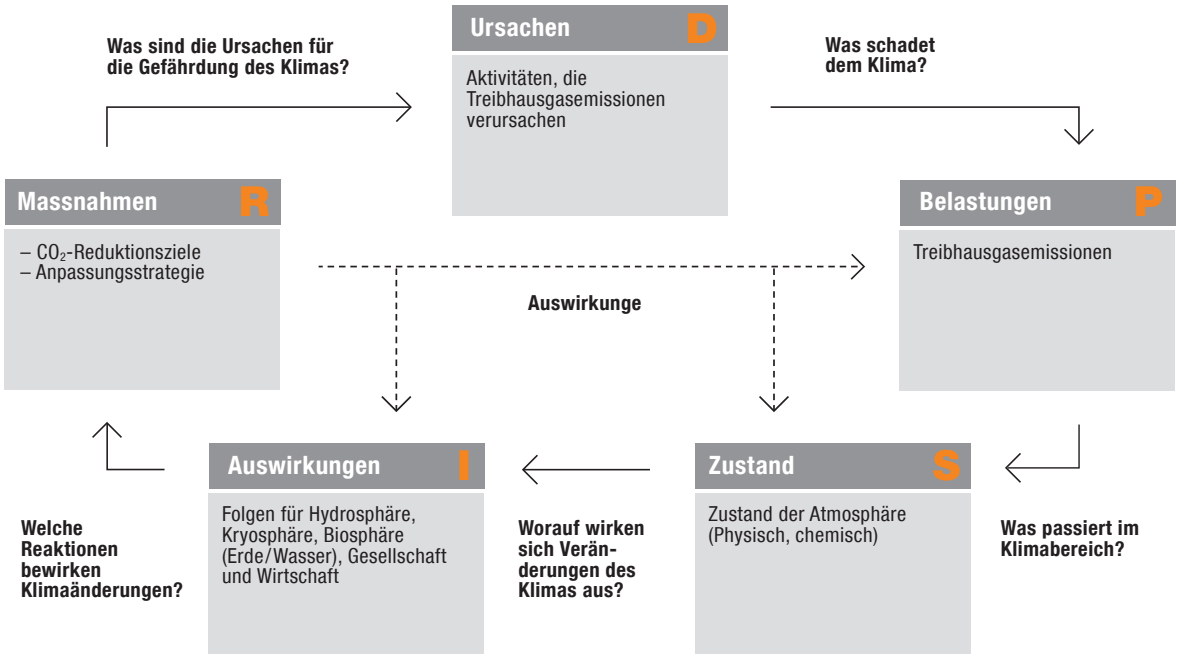
2.2 Die Klimaindikatoren

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die natürliche und anthropogene Umwelt in der Schweiz werden mithilfe von Indikatoren evaluiert, für die gut zugängliche, in regelmässigen Abständen erhobene Daten verfügbar sind. Diese Indikatoren müssen insbesondere folgende Bedingungen erfüllen:

> die Elemente des Klimasystems repräsentativ abbilden;
> zahlreiche Aspekte abdecken;
> die Nachverfolgung ihrer zeitlichen Entwicklung auf dem gesamten Gebiet zulassen;
> nicht redundant sein;
> verständlich und klar sein;
> auf einer wissenschaftlichen Methodik basieren;
> eine eindeutige Interpretation zulassen;
> von politischem Interesse sein;
> international vergleichbar sein.

Abb. 2 > DPSIR-Analyse, angewandt auf das Klima

Welches sind die Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Elementen, die das Klima beeinflussen oder die von diesem beeinflusst werden?



Dank dem Emissionsinventar, das jedes Jahr gemäss den Richtlinien der Klimakonvention erarbeitet wird, und das auch der Überprüfung der Umsetzung des CO_2-Gesetzes dient, verfügt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) über detaillierte Daten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Mit diesen Daten können die Veränderungen in den verschiedenen Sektoren verfolgt und die Bereiche ermittelt werden, in denen der Bedarf an Reduktionsmassnahmen besonders gross ist.

Was die Daten zur Atmosphäre anbelangt, betreibt das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) ein dichtes Netz von Beobachtungsstationen, die sich auf die ganze Schweiz verteilen. Einzelne Stationen verfügen über relativ lange Datenreihen. Für die Dokumentation der Entwicklung der Auswirkungen der Klimaänderung auf den Naturraum in der Schweiz werden sowohl Messungen und Erhebungen des BAFU herangezogen wie auch Auswertungen von Mess- und Beobachtungsnetzen oder von Umfragen, die von anderen Bundesämtern oder Forschungseinrichtungen bereitgestellt werden.

Bei den Indikatoren im Bereich der Klimapolitik ist es wichtig, zwischen Massnahmen zur Emissionssenkung und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu unterscheiden. Während es verhältnismässig solide Grundlagen für die Evaluation von Massnahmen zur Emissionsminderung gibt, ist die Dokumentation der Auswirkungen der Klimaänderungen noch wenig entwickelt, unter anderem deshalb, weil diese Prozesse im Allgemeinen sehr langsam ablaufen. Lediglich im Bereich der Naturgefahren werden bereits seit Langem Ereignisse ausgewertet und Vorbeugeszenarien entwickelt, jedoch bisher meist ohne spezifische Berücksichtigung von Klimaänderungen. Die in diesem Bereich erhobenen Daten können genutzt werden.

3 > Klimaänderung in der Schweiz: von den Ursachen zu den Massnahmen

3.1 Treibhausgasquellen

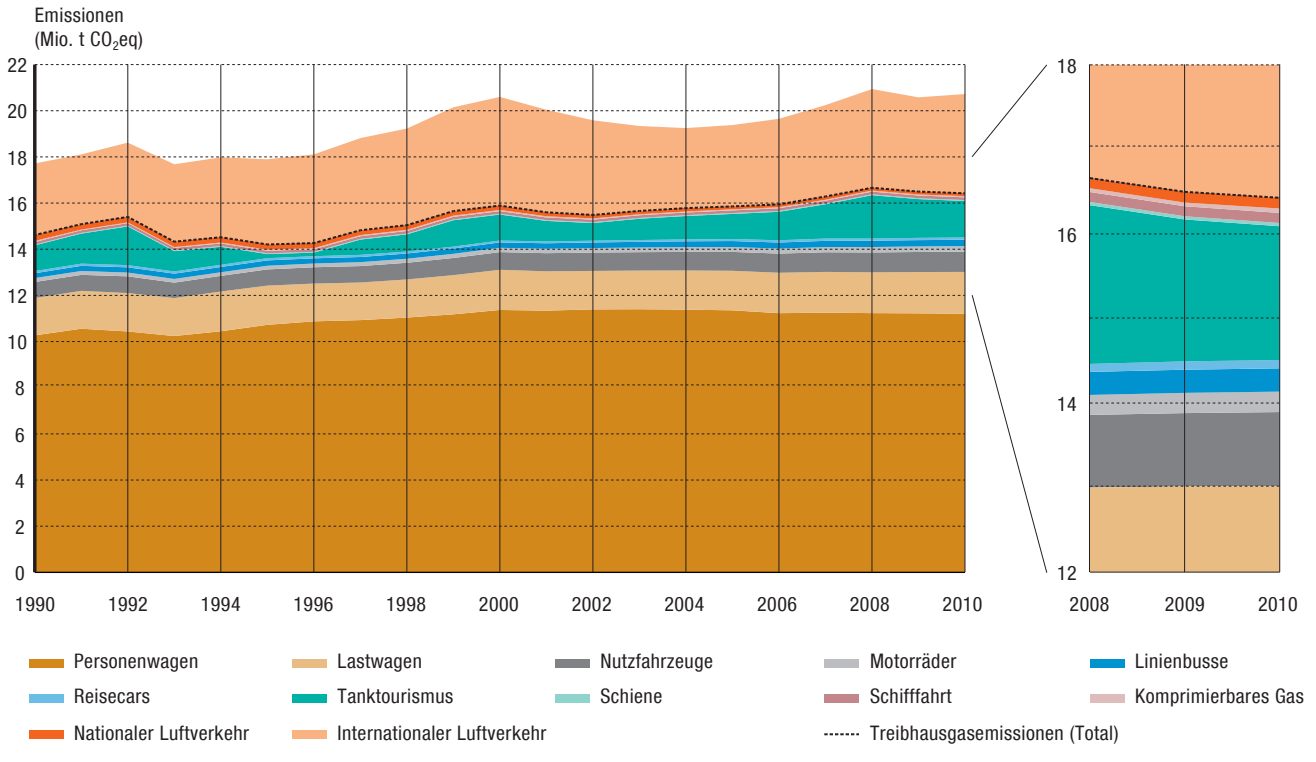
Steigende Bevölkerungszahlen, höhere Komfortansprüche des Menschen, veränderte Lebensweisen und wirtschaftliche Tätigkeiten beeinträchtigen die natürliche Umwelt erdumspannend. Ob im Transportwesen, in der Industrie, im Dienstleistungssektor, in den Haushalten, in der Landwirtschaft oder bei den Abfällen: In allen Bereichen generiert der Mensch Treibhausgasemissionen, die sich seit über einem halben Jahrhundert zunehmend negativ auf das Klima auswirken. CO_2, CH_4, N_2O und synthetische Gase (HCF, PCF und SF_6) beeinflussen das Klima besonders stark. Obwohl die Bedürfnisse der Bevölkerung in der Schweiz der demografischen Entwicklung folgen oder sie sogar übertreffen, zeigen die Treibhausgasemissionen nicht zwingend den gleichen Trend. Der Übergang zu erneuerbaren Energien und der Einsatz energiesparender Technologien haben den Druck auf die Umwelt verringert, ohne das wirtschaftliche Wachstum zu bremsen.

3.1.1 Sektor Verkehr

Zum Sektor Verkehr gehören Strassen-, Schiffs- und Schienenverkehr sowie der inländische Flugverkehr. Mit einem Anteil von 98 % an den gesamten Treibhausgasemissionen dieses Sektors (Abbildung 3) ist der Strassenverkehr der Hauptverursacher (der internationale Luftverkehr[2], der 4,29 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente (CO_2eq) generiert, ist dabei nicht

Abb. 3 > Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Emissionsentwicklung 1990–2010. Die schwarze Linie zeigt die gesamten inländischen Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors gemäss Kyoto-Protokoll (ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr).



Quelle: BAFU 2012a

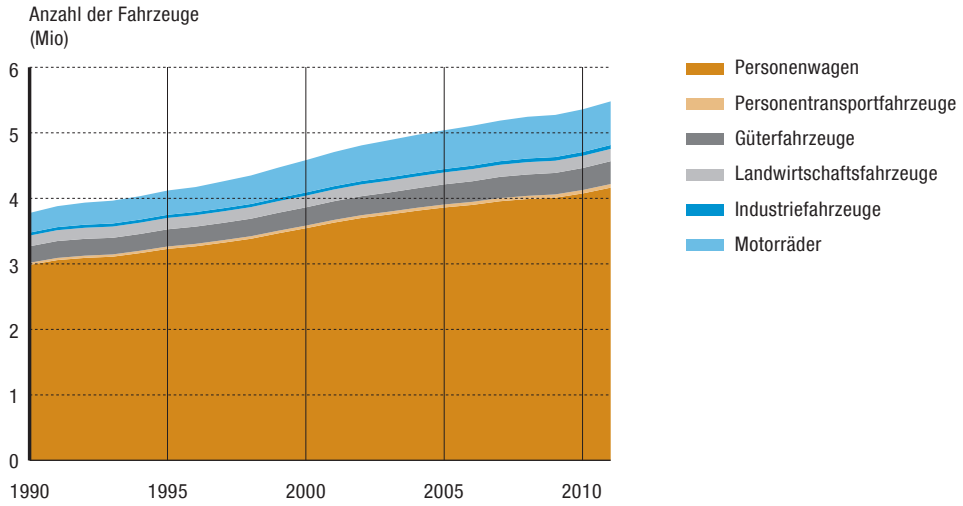
berücksichtigt). Zwischen 1990 und 2010 sind die gesamten Emissionen der Personenwagen, Lieferwagen und Lastwagen um 9, 26 und 12 % gestiegen. Der Tanktourismus[3] fluktuiert stark, weil er empfindlich auf Preisunterschiede zwischen Inland und Ausland reagiert. Schienen- und Schiffsverkehr verursachen relativ wenige Emissionen, aber mit einer Zunahme um 32 bzw. um 4 % zeigen auch sie einen Aufwärtstrend. Die Emissionen des inländischen Flugverkehrs indessen sind deutlich gesunken (–51 %). Dieser markante Rückgang ist auf die verstärkte Regulierung und auf den massiven Ausbau der Bodeninfrastruktur, insbesondere des Bahnverkehrs zwischen Genf und Zürich, zurückzuführen. Die Emissionen des internationalen Flugverkehrs stiegen dagegen seit 1990 um 39 %, liegen aber derzeit unter dem Höchstwert von 2000. Verantwortlich für die Abnahme zwischen 2000 und 2004 sind die Auswirkungen der Terroranschläge vom 11. September 2001 und die Swissair-Krise (2003/2004).

Eine Veränderung des Verkehrsverhaltens und eine gesteigerte Effizienz der Flotte können eine Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sinne der Ziele des Kyoto-Protokolls bewirken. Die Anzahl der Fahrzeuge im motorisierten Strassenpersonenverkehr[4] und Strassengüterverkehr[5] sind eine wichtige Ursache für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Eine Zunahme der Motorfahrzeuge geht aber nicht zwingend mit höheren Emissionen einher. Folglich reicht diese Kennzahl allein nicht aus, um die ergriffenen Massnahmen zur Emissionsreduktion zu verfolgen. Berücksichtigt werden müssen auch der tatsächliche Treibstoffverbrauch – ermittelt auf der Grundlage der von allen Fahrzeugen zurückgelegten Wegstrecken (Fahrleistung[6]) – und die Emissionen pro Fahrzeugkilometer (spezifische Emissionen des Verkehrs) unter Berücksichtigung der Passagieranzahl bzw. des beförderten Frachtgewichts (und nicht der Anzahl der Fahrzeuge).

Die Personenwagenflotte (Abbildung 4) wuchs innerhalb von 20 Jahren um 44 %. Parallel dazu ist seit 1993 ein Anstieg der Fahrleistungen des privaten Personenverkehrs um 25 % festzustellen (Abbildung 5). Die geringere Zunahme dieses Werts zeigt, dass pro Fahrzeug weniger Kilometer zurückgelegt werden. Mit der Erhöhung der Fahrleistungen des privaten Personenverkehrs zwischen 1990 und 2002 stiegen auch die CO_2-Emissionen (+14 % bis 2002), blieben jedoch ab diesem Zeitpunkt konstant (Abbildung 5). Diese erfreuliche Stabilisierung ist auf die verbesserte Energieeffizienz der Flotte (besonders der Personenwagen) und auf den Trend zu mehr Dieselfahrzeugen zurückzuführen. Im Gegenzug hat jedoch die von allen Passagieren zurückgelegte Strecke weniger stark zugenommen als die Fahrleistung der Privatwagen, was auf eine geringere Anzahl Personen pro Fahrzeug hinweist. Insgesamt gesehen gingen die spezifischen CO_2-Emissionen des Personenverkehrs[7] seit 1990 lediglich um 3 % zurück (Abbildung 5). Eine sparsamere individuelle Nutzung

Abb. 4 > Bestand der Strassenmotorfahrzeuge

Jährlich erfasste Anzahl Fahrzeuge nach Fahrzeugkategorien im motorisierten Strassenverkehr 1990–2011.



Quelle: BFS 2012a

der Personenwagen und Carpooling könnten die spezifischen CO_2-Emissionen weiter verringern.

Auch die Fahrleistungen des Strassengüterverkehrs stiegen von 1990 bis 2010 stetig (+28 %, Abbildung 5), fluktuierten aber stärker, weil sie konjunkturellen Schwankungen unterliegen. Von 2001 bis 2003 ist eine vorübergehende Abnahme bei den zurückgelegten Kilometern feststellbar, die auf die 2001 eingeführte leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) und auf die Heraufsetzung der 28-Tonnen-Limite auf die 34-Tonnen-Limite (2001) und schliesslich auf die 40-Tonnen-Limite (2005) zurückzuführen ist. Die Erhöhung der zulässigen Fracht pro Fahrzeug bewirkte einen Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen um 21 % (Abbildung 5). Zudem stieg der Bestand der Güterfahrzeuge weniger rasch an als die beförderten Gütervolumen (1990–2010: +26 %, Abbildung 4). Dank dem reduzierten Treibstoffverbrauch wurde die Fahrzeugeffizienz zwar leicht erhöht, die CO_2-Emissionen nahmen aber dennoch kontinuierlich zu (Abbildung 5). Der Anteil der Schiene am Güterverkehr[7] schwankte zwischen 36 und 42 %. Im Zuge der gemäss Bundesgesetz über die zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur (Schweizerische Eidgenossenschaft 2009) umgesetzten Projekte dürfte sich dieser Anteil in den nächsten Jahren erhöhen und möglicherweise eine Reduktion der spezifischen Emissionen bewirken.

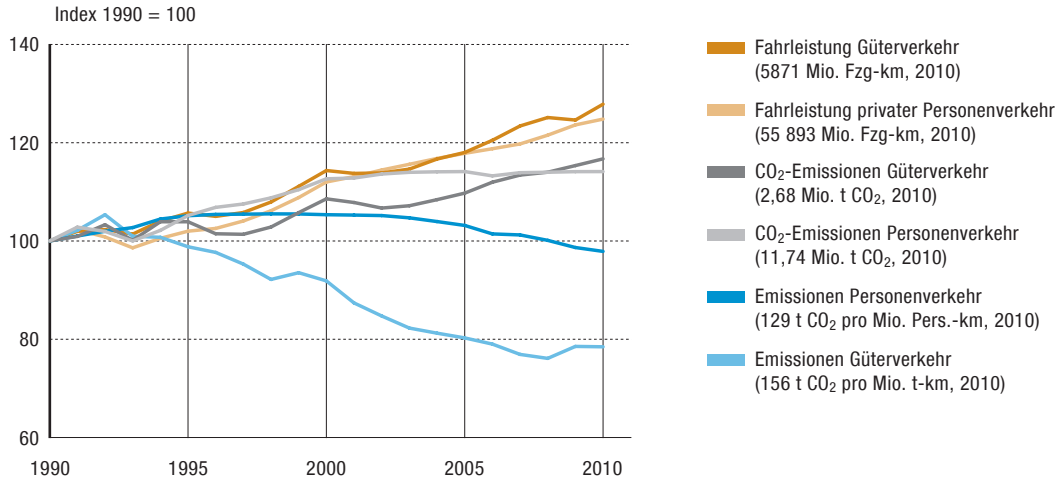
3.1.2 Sektor Haushalte

Wenn die Bevölkerung wächst, steigt der Bedarf an Energie. Der erhöhte Bedarf im Sektor Haushalte ist im Wesentlichen auf die Zunahme der beheizten Wohnflächen zurückzuführen. Im Jahr 2010 entfielen über 72 % des Energiebedarfs der Haushalte auf die Beheizung, der Rest auf die Warmwasserbereitung (12 %) und auf übrige Haushaltstätigkeiten wie Kochen, Unterhalt und Beleuchtung (Infras et al. 2011). Die Mehrzahl der Schweizer Haushalte (54 %) heizt mit Heizöl, an zweiter Stelle liegen die mit Erdgas betriebenen Heizungen (21 %, Infras et al. 2011). Werden ausschliesslich fossile Brennstoffe berücksichtigt, stellt Heizöl einen Anteil von 63 %, generiert aber 76 % aller CO_2-Emissionen der Haushalte (Schweizerische Eidgenossenschaft und BAFU 2012). In der Schweiz haben die Witterungsverhältnisse einen erheblichen Einfluss darauf, welche Brennstoffmengen durch die Haushalte verbraucht werden. In langen kalten Wintern ist der Heizbedarf höher als in milden Wintern. Die niedrigen Emissionswerte für 2007 und die hohen Werte für 2010 verdeutlichen dieses Phänomen.

Die Entwicklung der Umweltbelastungen, die vom Energieverbrauch der Haushalte ausgehen, wird anhand der drei folgenden Indikatoren bewertet: Bevölkerungswachstum, Gesamtwohnungsbestand und Energiebezugsfläche[8] (Abbildung 6). Die Energiebezugsfläche und der Wohnungsbestand entwickeln sich nahezu parallel, steigen aber stärker als die

Abb. 5 > Einflussfaktoren auf die Emissionen des Strassenverkehrs, totale und spezifische Emissionen

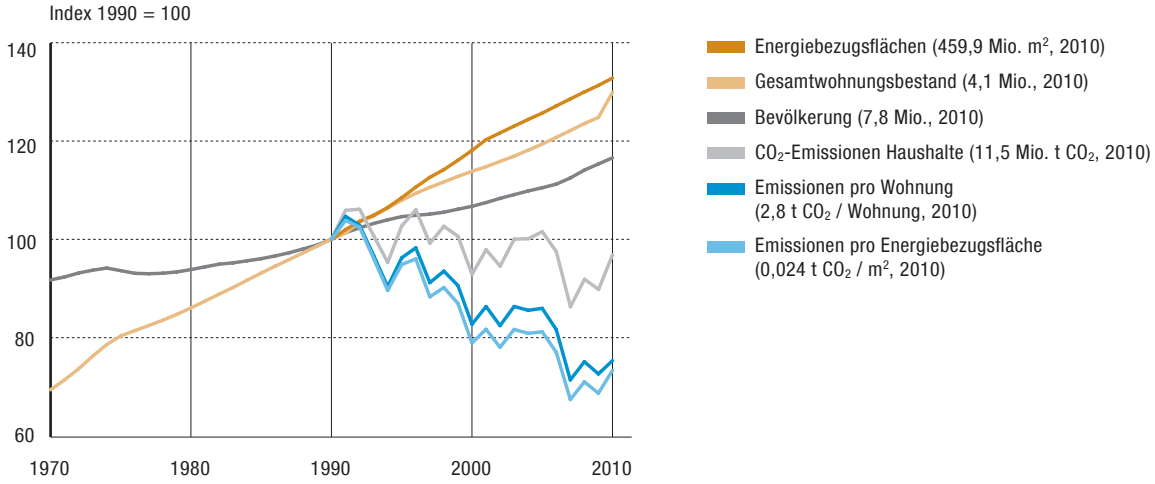
Fahrleistungen des privaten Strassenpersonenverkehrs und des Strassengüterverkehrs 1990–2010. Jährliche spezifische CO_2-Emissionen (netto) aus der Verbrennung fossiler Treibstoffe im Strassenpersonen- und -güterverkehr 1990–2010.



Quellen: BFS (2012b), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

Abb. 6 > Einflussfaktoren auf die Emissionen der Haushalte, totale und spezifische Emissionen

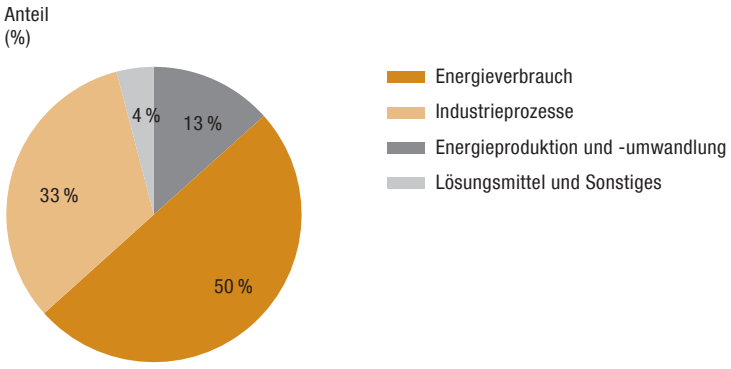
Anstieg der Bevölkerung und der Anzahl dauernd bewohnter Wohnungen 1967–2010 sowie Entwicklung der Energiebezugsflächen 1990–2010. Jährliche CO_2-Emissionen total und spezifisch (pro Wohnung und Energiebezugsfläche) aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe in den Haushalten.



Quellen: BFS (2011, 2012c,d), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

Abb. 7 > Emissionsquellen im Sektor Industrie

Anteil der Quellen an den gesamten Treibhausgasemissionen der Industrie 2010.



Quelle: Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

Bevölkerungszahlen. Dies verdeutlicht, dass sich die Wohnfläche pro Person erhöht und die Anzahl der Personen pro Wohnung abnimmt. Trotz des unaufhaltsamen Anstiegs der drei Indikatoren sind die Emissionen der Haushalteseit 1990 deutlich rückläufig. So wird bei den Emissionen ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 0,5 % und bei den spezifischen Emissionen[9] je nach angewendeter Methode ein Rückgang von 1,1 bis 1,2 % pro Jahr verzeichnet. Diese Tendenz ist auf den vermehrten Einsatz von Erdgas und nicht fossilen Energieträgern (Wärmepumpen, Holz usw.), die verbesserten Isolationsstandards und die energetische Sanierung der Häuser zurückzuführen.

3.1.3 Sektor Industrie

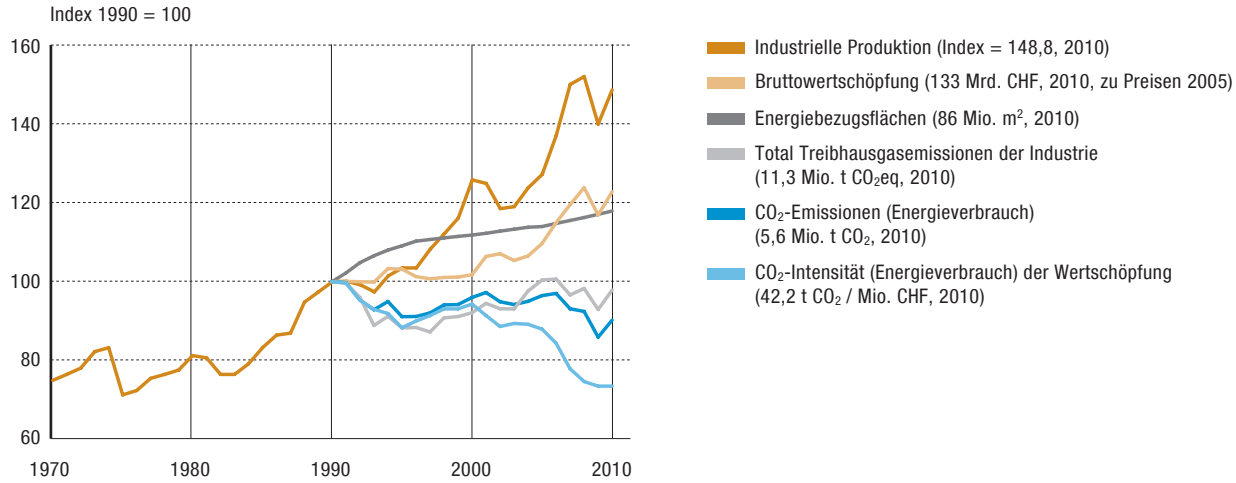
Ohne strukturelle Veränderungen und technischen Fortschritt kann eine Zunahme der industriellen Tätigkeiten den Druck auf die Umwelt verstärken. Der überwiegende Teil der Emissionen im Sektor Industrie stammt aus dem Energieverbrauch der herstellenden Industrie und des Baugewerbes (Abbildung 7). Die restlichen Emissionen werden im Wesentlichen bei der Herstellung und Umwandlung von Energie und in den Industrieprozessen generiert. Im Bereich «Energieverbrauch» werden fossile Brennstoffe nahezu ausschliesslich zur Gewinnung von Prozesswärme (für zahlreiche technische Verfahren und Prozesse erforderlich) und zur Gebäudeheizung verwendet. Der hohe Energiebedarf der Antriebsprozesse und -systeme (z. B. Maschinenbetrieb, Einsatz von Nutzgeräten) wird durch Elektrizität abgedeckt (Infras et al. 2011).

Der Heizwärmebedarf der Industrie hängt von den genutzten Gebäudeflächen ab, der Energieverbrauch der Produktionsprozesse indessen von der Menge der hergestellten Güter. Somit kann anhand des Produktionsindex, der Bruttowertschöpfung[10] und der Energiebezugsfläche[8] der Industrie die Entwicklung der Treibhausgasemissionen dieses Sektors verfolgt und veranschaulicht werden. Das 1990 bis 2010 verzeichnete starke Wachstum der industriellen Produktion (+49 %) und der leichte Anstieg der Energiebezugsflächen (+18 %) und der Bruttowertschöpfung (+16 %) zogen keine Zunahme der energiebedingten CO_2-Emissionen nach sich (Abbildung 8). Der Rückgang der gesamten Treibhausgasemissionen der Industrie ist weniger ausgeprägt als derjenige der energiebedingten CO_2-Emissionen, weil die Prozessemissionen leicht zugenommen haben.

Die Industrie strebt eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Emissionen an, d. h., sie will den wirtschaftlichen Aufschwung sichern und gleichzeitig die Emissionen reduzieren. Um festzustellen, wie effizient die Anstrengungen der Industrie zur Erreichung ihrer wirtschaftlichen und ökologischen Ziele sind, wird die energiebedingte CO_2-Emissionsintensität ermittelt. Dieser Indikator erfasst das Verhältnis zwischen den energiebedingten CO_2-Emissionen im Verhältnis zur erzeugten Bruttowertschöpfung der Herstellungs-

Abb. 8 > Einflussfaktoren auf die Emissionen der Industrie, totale Emissionen und CO_2-Intensität

Entwicklung der industriellen Produktion (1970–2010), der industriellen Energiebezugsflächen, der Bruttowertschöpfung, der energiebedingten CO_2-Emissionen, der totalen Treibhausgasemissionen und der energiebedingten CO_2-Intensität pro Wertschöpfung (1990–2010).



Quelle: BFE (2011a), BFS (2012e), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

industrie, des Baugewerbes und des Bergbaus[11]. Von 1990 bis 2010 sind die CO_2-Emissionen pro Franken Bruttowertschöpfung um 27 % gesunken, d. h., es hat eine Entkopplung stattgefunden (Abbildung 8).

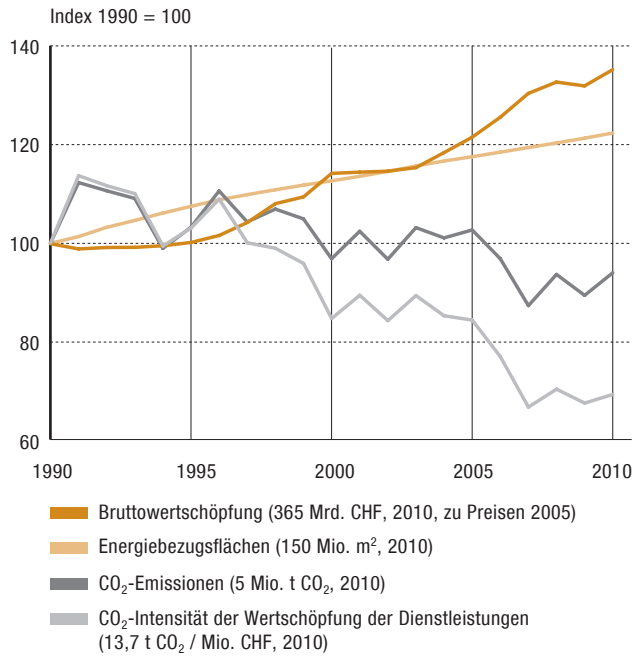
3.1.4 Sektor Dienstleistungen

Tourismus, Banken und Versicherungen sind die Haupttätigkeitsfelder, die zur florierenden Entwicklung des Schweizer Dienstleistungssektors beitragen. Auch sie generieren unweigerlich Emissionen, die allerdings vollumfänglich durch den Energieverbrauch verursacht sind. Sie entstehen im Wesentlichen durch das Heizen und sind damit kurzfristig von den Witterungsbedingungen geprägt (Infras et. al. 2011).

Die markante Erhöhung der Bruttowertschöpfung[12], um über 35 % im Zeitraum 1990–2010 ist ein Zeichen der gesunden wirtschaftlichen Entwicklung des Dienstleistungssektors (Abbildung 9). Eine Folge dieses Aufschwungs ist der Anstieg der Energiebezugsflächen[8]. Die CO_2-Intensität im Dienstleistungssektor, die auf den energiebedingten CO_2-Emissionen der Dienstleistungen basiert, hat sich im Bezugszeitraum um 31 % verringert, während die Bruttowertschöpfung um etwa den gleichen Prozentsatz gestiegen ist (Abbildung 9). Von meteorologischen Einflüssen abgesehen, tendieren die Emissionen nach unten, und dies selbst in ausgeprägten Wachstumsphasen (z. B. 2004–2008). Genauso wie im Sektor Haushalte ist es auch hier dank dem Übergang zu nicht fossilen Brennstoffen und den verbesserten Energiestandards bestehender Gebäude gelungen, die im Zuge der erhöhten Energieansprüche steigenden Emissionen zu kompensieren.

Abb. 9 > Einflussfaktoren auf die Emissionen des Dienstleistungssektors, totale Emissionen und CO_2-Intensität

Entwicklung der Wertschöpfung, der Energiebezugsflächen, der CO_2-Emissionen und der (energiebedingten) CO_2-Emissionsintensität pro Wertschöpfung des Dienstleistungssektors 1990–2010.



Quellen: BFE (2012), BFS (2012e), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

3.1.5 Sektor Landwirtschaft

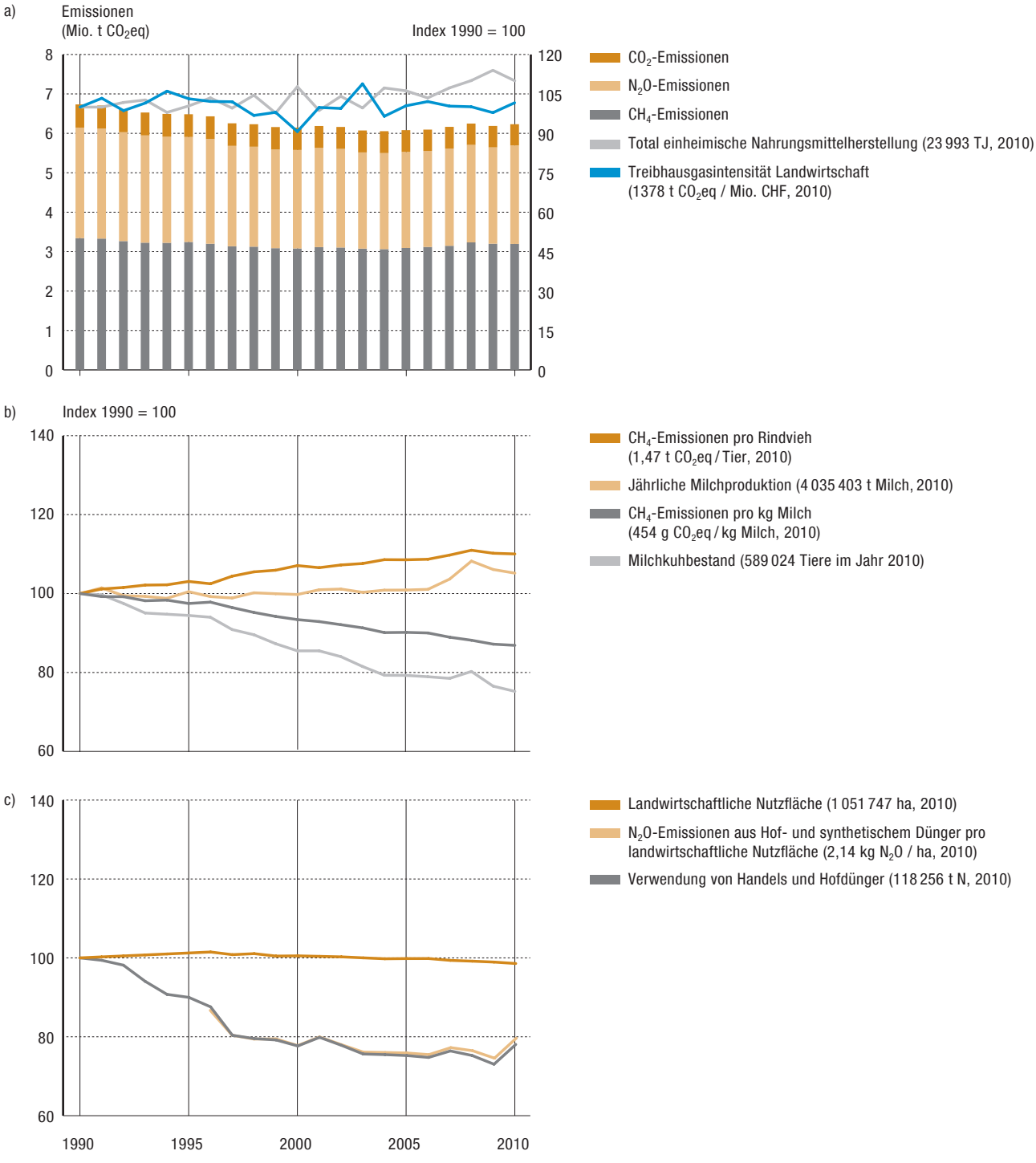
Der Anteil der Landwirtschaft an den CO_2-Emissionen ist im Vergleich zu dem der anderen Wirtschaftssektoren gering (Abbildung 10a). Ihr Beitrag zu den CH_4-Emissionen (51 %) und den N_2O-Emissionen (40 %) ist indessen sehr hoch (Werte für 2010, Schweizerische Eidgenossenschaft und BAFU 2012). Die Verdauung der Nutztiere und der Einsatz von Hofdünger generieren CH_4-Emissionen (73 % dieser Emissionen entstehen in der Viehhaltung). Die N_2O-Emissionen stammen hauptsächlich aus den biologischen Abbauprozessen von Stickstoffdepositionen auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Wesentlichen gehen diese Einträge auf das Konto der Stickstoffdüngung (Handelsdünger und Hofdünger).

Dank der Fortschritte bei der Selektion und der intensiveren Fütterung ist die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh in den letzten 25 Jahren um nahezu 70 % gestiegen (BLW 2011). Insgesamt ist ein sinkender Rindviehbestand namentlich bei den Milchkühen feststellbar (Abbildung 10b). Trotz des Anstiegs der spezifischen CH_4-Emissionen pro Rindvieh[13], und eines noch stärkeren Anstiegs bei den Milchkühen, wurde in diesem Sektor zwischen 1990 und 2010 ein Rückgang der CH_4-Emissionen um 4 % registriert. Dieser Rückgang erfolgt trotz einer Milchertragssteigerung. Auch die spezifischen CH_4-Emissionen pro kg Milch[14] sinken.

Der in den letzten 20 Jahren verzeichnete Rückgang der N_2O-Emissionen um 9 % spiegelt den verringerten Einsatz von Handels- und Hofdünger wider (Abbildung 10c). Der Einsatz dieser Dünger wird durch zahlreiche Bestimmungen in der Umweltgesetzgebung des Bundes geregelt. Mineraldünger dürfen nur ausgetragen werden, wenn der Hofdünger nicht ausreicht. Auch die zulässigen Hofdüngermengen sind gesetzlich geregelt. Zudem müssen sich die Betriebe bei der Bestimmung des pflanzlichen Düngerbedarfs an die Empfehlungen der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten halten. Der Rückgang des ausgebrachten Hofdüngers wird teilweise durch die direkte Stickstoffausscheidung der Tiere auf den Weideflächen kompensiert. Die direkten spezifischen Emissionen von Handels- und Hofdünger pro landwirtschaftliche Nutzfläche[15] sinken im gleichen Umfang wie die ausgetragenen Düngermengen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche bleibt relativ konstant, d. h., sie hat keine Auswirkungen auf den

Abb. 10 > Einflussfaktoren auf die Emissionen der Landwirtschaft, Emissionen nach Treibhausgasen und spezifische Treibhausgasemissionen, 1990–2010

a) Entwicklung der einheimischen tierischen und pflanzlichen Nahrungsmittelherstellung, Intensität der Treibhausgasemissionen pro Bruttowertschöpfung und jährliche CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen b) Entwicklung des Milchkuhbestands und der jährlichen Milchproduktion, CH_4- Emissionen pro Rindvieh und pro kg Milch c) Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der Verwendung von Handels und Höfdünger und der spezifischen N_2O-Emissionen (direkte N_2O-Emissionen des Düngereinsatzes) pro Nutzflächeneinheit.



Quelle: BFS (2012f), SBV (2012), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

Rückgang der ausgebrachten Düngermengen. Die Anstrengungen der Landwirtschaft im Umweltschutz sind positiv zu werten, da die Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft keine Verringerung der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion zur Folge hat (Abbildung 10a). Die Emissionen pro Franken Bruttowertschöpfung der Landwirtschaft[16] sind ziemlich konstant.

3.1.6 Sektor Abfall

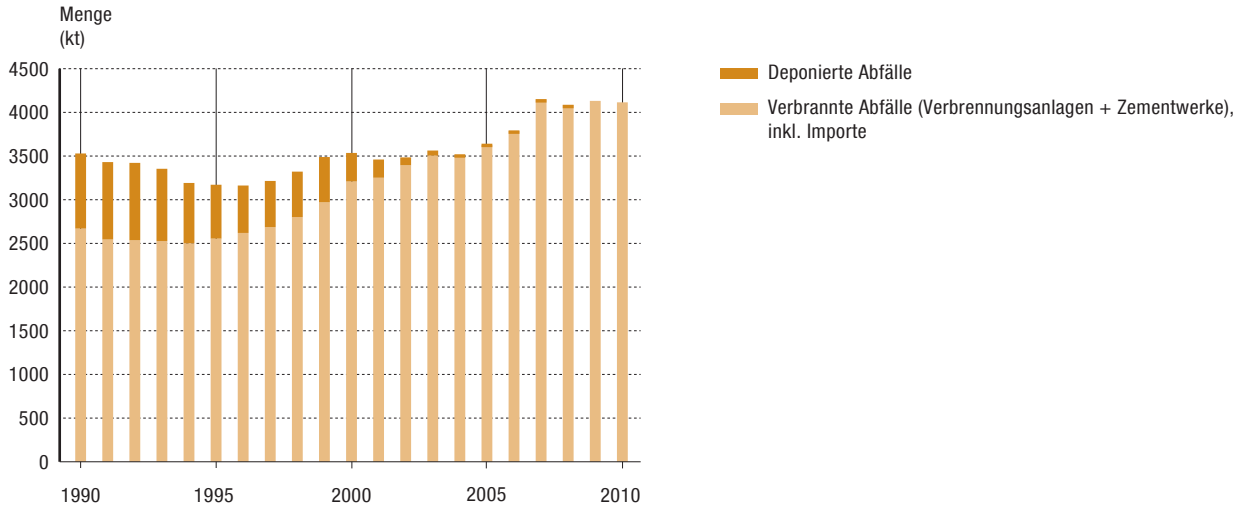
Die Schweiz produziert nahezu 19,5 Millionen Tonnen Abfall pro Jahr. Mit 11,9 Millionen Tonnen generiert die Baubranche die meisten Abfälle, an zweiter Stelle stehen die Siedlungsabfälle mit 5,6 Millionen Tonnen. Im Jahr 2010 wurden 82 % der Bauabfälle und 50 % der Siedlungsabfälle rezykliert. Damit zählt die Schweiz weltweit zu den Ländern, die ihre Abfälle am besten verwerten. Zu den Restmengen gehören Klärschlamm und Sonderabfälle. Nicht rezyklierte Siedlungsabfälle und ein geringer Teil der Sonderabfälle werden in Kehrichtverbrennungsanlagen thermisch verwertet. Auch Zementwerke nutzen seit einigen Jahren das energetische Potenzial von Abfällen. Im Gegensatz zu den Kehrichtverbrennungsanlagen verbrennen sie alternative Brennstoffe wie Altöl, Lösungsmittel, Altreifen, Kunststoffabfälle, Trockenklärschlamm, Industrieabfälle und Abfälle aus der Landwirtschaft. Bei der Wärme- bzw. Stromerzeugung in Kehrichtverbrennungsanlagen oder Zementwerken entstehen notwendigerweise auch CO_2-Emissionen, allerdings trägt die Abfallverbrennung zur Emissionsreduktion des Energiesektors bei, weil die Abfälle zumeist fossile Brennstoffe ersetzen. Bei der Ablagerung von Abfällen in Deponien werden indessen bedeutende CH_4-Mengen freigesetzt. Seit dem Verbot im Jahr 2000, brennbare Abfälle zu deponieren, landet nur noch ein Teil der Bauabfälle und der Sonderabfälle in kontrollierten Deponien.

Der im Laufe der letzten 20 Jahre verzeichnete Anstieg der (verbrannten und deponierten) Abfälle ist eine Folge des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums. Die starke Zunahme bei den verbrannten und deponierten Abfällen zwischen 2005 und 2006 ist vor allem mit höheren importierten Abfallmengen in diesem Zeitraum zu erklären. Das im Jahr 2000 erfolgte Deponieverbot führte dazu, dass mehr Abfälle verbrannt werden.

Die Treibhausgasemissionen der verbrannten und deponierten Abfälle schwanken parallel zur Abfallmenge. Die Treibhausgasemissionen pro Tonne Abfall verzeichnen seit 1995 einen Aufwärtstrend (+14 % zwischen 1990 und 2000). Auch die CO_2-Emissionen steigen stärker als die verbrannten Abfallmengen (+19 %). Dieses Phänomen erklärt sich aus der veränderten Zusammensetzung der verbrannten Abfälle, d. h. aus dem veränderten Anteil an fossilen Stoffen. Obwohl seit 2002 fast keine Siedlungsabfälle mehr deponiert werden, nehmen die CH_4-Emissionen nur allmählich ab. Die chemischen Abbauprozesse in den bereits deponierten Siedlungsabfällen

Abb. 11 > Einflussfaktoren auf die Abfallemissionen

Deponierte und verbrannte Abfallmengen, 1990–2010.



Quelle: Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

gehen weiter, und trotz der angebrachten Gasauffangeinrichtungen entweichen während mehrerer Jahre beträchtliche CH_4-Mengen in die Atmosphäre.

3.1.7 Nicht fossile Treibhausgasquellen und -senken

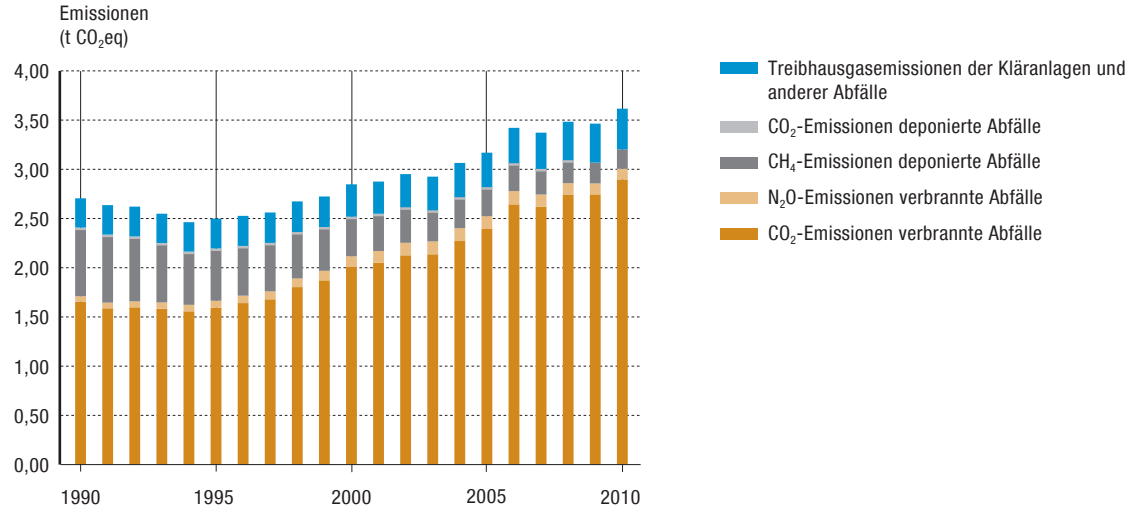
Um dem wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln, Energie und Infrastrukturen nachzukommen, verändert der Mensch die Landnutzung, indem er den Boden bewirtschaftet oder einer anderen Nutzung zuführt. Dies verursacht Änderungen der Kohlenstoffvorräte im Boden und kann anthropogene Emissionen generieren. Die landwirtschaftliche Nutzung der Böden kann zu einer Veränderung der Kohlenstoffgehalte des Bodens führen. Beim Pflügen beispielsweise wird der Boden belüftet und erwärmt, was den Abbau von organischem Material begünstigt. Auch der Einsatz von Düngern, die Verbrennung von Biomasse, das Kalken, das Überweiden und landwirtschaftliche Praktiken, die den Boden nicht vor Erosion schützen[17], reduzieren die Fähigkeit der Böden, Kohlenstoff zu speichern.

Moore, Wälder und Wiesen sind die wichtigsten natürlichen Kohlenstoffspeicher der terrestrischen Ökosysteme. Die Umwandlung dieser Flächen in landwirtschaftliche Nutzflächen hat besonders folgenschwere Auswirkungen auf die Umwelt. Die Nutzung von Mooren beispielsweise bringt die Zersetzung von gespeichertem organischem Material in Gang. Die Wälder haben eine regulierende Funktion im Hinblick auf die CO_2-Emissionen, indem sie während der Wachstumsphase hohe Mengen an CO_2 aus der Atmosphäre aufnehmen. Beim Vermodern oder Verbrennen der bei Rodungen gefällten Bäume und bei Waldbränden wird der in der Biomasse des Baums gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt. Zudem speichern die Waldböden grosse Mengen an Kohlenstoff. Das gestärkte Umweltbewusstsein in Europa trägt zu einer aktiven und nachhaltigen Waldwirtschaft bei (rasche Wiederaufforstung des Waldes nach der Ernte). Weltweit gesehen jedoch bleibt die Rodung der Wälder besorgniserregend, da sie eine weitere wichtige Quelle von Treibhausgasen ist. Positiv zu vermerken ist, dass die Biosphäre heute weltweit etwa 25 % aller anthropogenen CO_2-Emissionen aufnimmt. Diese Eigenschaft muss erhalten bleiben.

Gemäss IPPC (Penman et al. 2003) wird die Landnutzung in sechs Kategorien unterteilt (Wälder, Kulturflächen, Wiesen, Feuchtgebiete, Siedlungen und Andere). In der Schweiz sind alle Flächen mit Ausnahme der Wälder CO_2-Quellen (Abbildung 13). Die Forstwirtschaft trägt seit Langem dazu bei, die Biomasse des Waldes zu erhöhen und seine Rolle als Kohlenstoffsenke zu stärken (BAFU 2012). Die Werte der anderen Bodennutzungskategorien blieben im Vergleich zu denjenigen des Waldes relativ stabil. Die niedrige CO_2-Senke der Wälder im Zeitraum 2000–2002 ist das Ergebnis des extremen Sturms «Lothar». Die grossflächigen Sturmschäden und die notwendigen Zwangsnutzungen führten zu

Abb. 12 > Treibhausgasemissionen des Abfallsektors

Entwicklung der CO_2-, CH_4- und N_2O Emissionen aus deponierten und verbrannten Abfällen. Die übrigen Emissionen des Abfallsektors stammen zur Hauptsache von Kläranlagen.

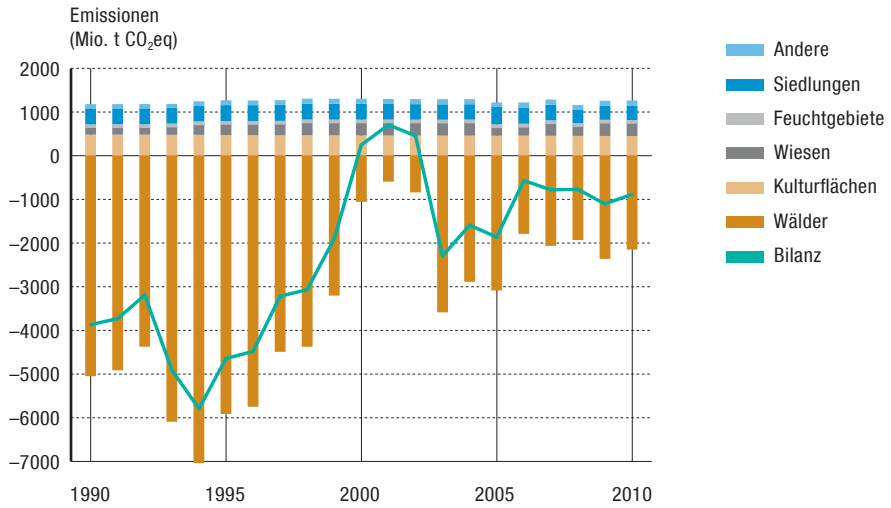


Quelle: Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

einer erheblichen Verringerung der Senkenleistung der Wälder. Während die Waldsenke in den 1990er-Jahren deutlich höher als die Summe der Emissionen der anderen Bodennutzungskategorien war, scheint sie im letzten Jahrzehnt geringer auszufallen. Die Zahlen des neuesten Landesforstinventars 4, die in Abbildung 13 noch nicht eingeflossen sind, zeigen jedoch, dass die Senkenleistung im Wald in den letzten Jahren weniger stark als dargestellt abgenommen hat.

Abb. 13 > Kohlenstoffquellen und -senken der Landnutzung

Jährliche Veränderungen der Kohlenstoffbestände von sechs Bodennutzungskategorien als Ergebnis der Bodennutzung und der veränderten Landnutzung 1990–2010. Negative Werte bedeuten eine Senke, was einer Zunahme der Kohlenstoffvorräte entspricht.



Quelle: Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

3.2 Treibhausgasemissionen

Das Wachstum des Energieverbrauchs verursacht seit rund 40 Jahren eine bis dahin unbekannte Zunahme der weltweiten CO_2-Emissionen aus menschlichen Tätigkeiten. Auch der Ausstoss der anderen klimaaktiven Gase nahm zu. Im Jahr 2008 machten diese jedoch nur 24 % aller Treibhausgasemissionen aus (IEA 2011). In der Schweiz setzte der starke Anstieg der Emissionen bereits zu Beginn der 1950er-Jahre ein, um in den 1980er-Jahren seinen Höhepunkt zu erreichen. Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen zeigt grosse Unterschiede zwischen den Ländern. In den Entwicklungsländern nehmen die Emissionen kontinuierlich zu, in einzelnen Industrieländern und vielen osteuropäischen Ländern indessen verringern sie sich. In der Schweiz sind die Treibhausgasemissionen seit 1980 in etwa konstant geblieben.

3.2.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Gas und Sektor

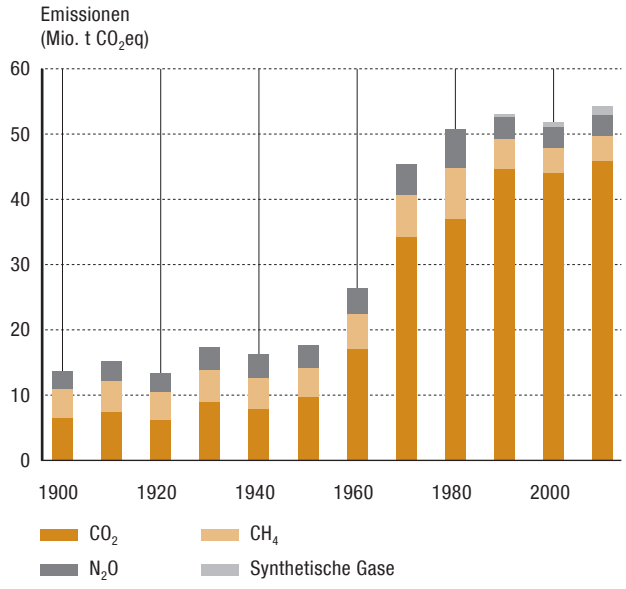
Von 1900 bis 2010 sind die gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz um mehr als das Vierfache gestiegen, nämlich von 13 Millionen auf 54,2 Millionen Tonnen CO_2eq (Abbildung 14). Der Anteil des CO_2 nahm von 45 auf 85 % zu, während der kumulierte Anteil von CH_4 und von N_2O von 55 auf 13 % sank. Machten die synthetischen Gase 1990 noch rund 0,4 % der Emissionen aus, so stellten sie 2010 bereits 2,3 %.

Die Gründe für die Verschiebungen der Anteile der verschiedenen Gase sind in den grundlegenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen zu suchen, die seit über einem Jahrhundert zu beobachten sind.

Im Zuge der explosionsartigen Entwicklung des Verkehrs und des starken Wirtschaftswachstums seit 1950 stiegen die CO_2-Emissionen rasant an (Abbildung 15). Im Laufe von 20 Jahren vervierfachten sie sich. Das Verkehrsvolumen auf der Strasse hat enorm zugenommen. Der Bestand an Personenwagen legte von rund 150 000 im Jahr 1950 auf über 4 Millionen im Jahr 2011 zu. Lagen die Fahrleistungen des privaten motorisierten Personenverkehrs6 1950 bei rund 2,9 Milliarden Fahrzeugkilometern, so erreichten sie 2010 einen Wert von nahezu 56 Milliarden Fahrzeugkilometern (BFS 2012e). Während die Emissionen aus dem Strassengüterverkehr kontinuierlich steigen, haben sich die Emissionen aus dem Strassenpersonenverkehr seit 2000 stabilisiert (Abbildung 5). Diese Entwicklung ist namentlich auf technische Fortschritte (energieeffizientere Motoren) und auf den vermehrten Einsatz von dieselbetriebenen Personenwagen zurückzuführen. Das Bevölkerungswachstum und die zunehmenden Komfortansprüche wiederum zogen eine Vervielfachung der beheizten

Abb. 14 > Treibhausgasemissionen nach Gasen

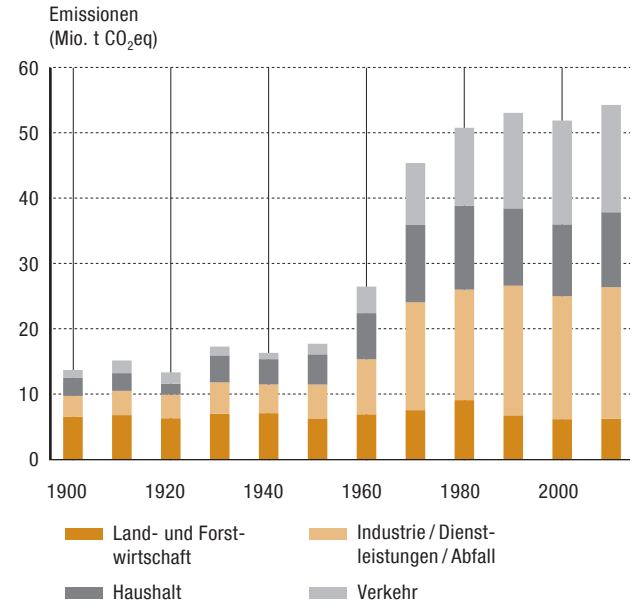
CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen sowie Emissionen synthetischer Gase (HCF, PCF und SF_6) 1900–2010.



Quelle: BAFU (2012b)

Abb. 15 > Treibhausgasemissionen pro Sektor

Emissionsentwicklung 1900–2010.



Quelle: BAFU (2012b)

Wohnfläche nach sich und damit eine rasante Erhöhung des Brennstoffverbrauchs zur Gebäudebeheizung.

CH_4- und N_2O-Emissionen sind typisch für die Landwirtschaft. Sie verzeichneten seit 1900 einen Aufwärtstrend, der Ende der 1970er-Jahre seinen Höhepunkt erreichte (Abbildung 15). Der Anstieg der CH_4-Emissionen ist hauptsächlich auf die Entwicklung des Nutztierbestands, vor allem des Rindviehbestands, zurückzuführen, während die Zunahme bei den N_2O-Ausstössen in der intensiveren Bodendüngung mit Stickstoffdüngern begründet ist. Für die hohen CH_4-Werte zwischen 1970 und 1990 sind die Zunahme der deponierten Abfallmenge sowie die Umstellung von Stadtgas[18] auf Erdgas mitverantwortlich. Die rückläufige Entwicklung des Rindviehbestands – vor allem bis 2004 – und die Auflagen über den Einsatz von Handelsdünger und Hofdünger (vgl. Kapitel 3.1.5) trugen wesentlich dazu bei, dass seit über 20 Jahren weniger CH_4 und N_2O ausgestossen wird. Auch die CH_4-Emissionen aus Abfällen sanken im gleichen Zeitraum. Dank der Abfallverbrennung wurden die Emissionen aus deponierten Abfällen reduziert. Auch die Emissionsanteile der bereits bestehenden Deponien wurden erheblich gesenkt, namentlich durch das Auffangen und die Verbrennung von CH_4 der Deponien und der Kläranlagen. Die Sektoren Industrie, Dienstleistungen und Abfall verursachen 16 % der N_2O-Emissionen. Diese entstehen in erster Linie bei der Produktion von Salpetersäure und bei der Abfallverbrennung.

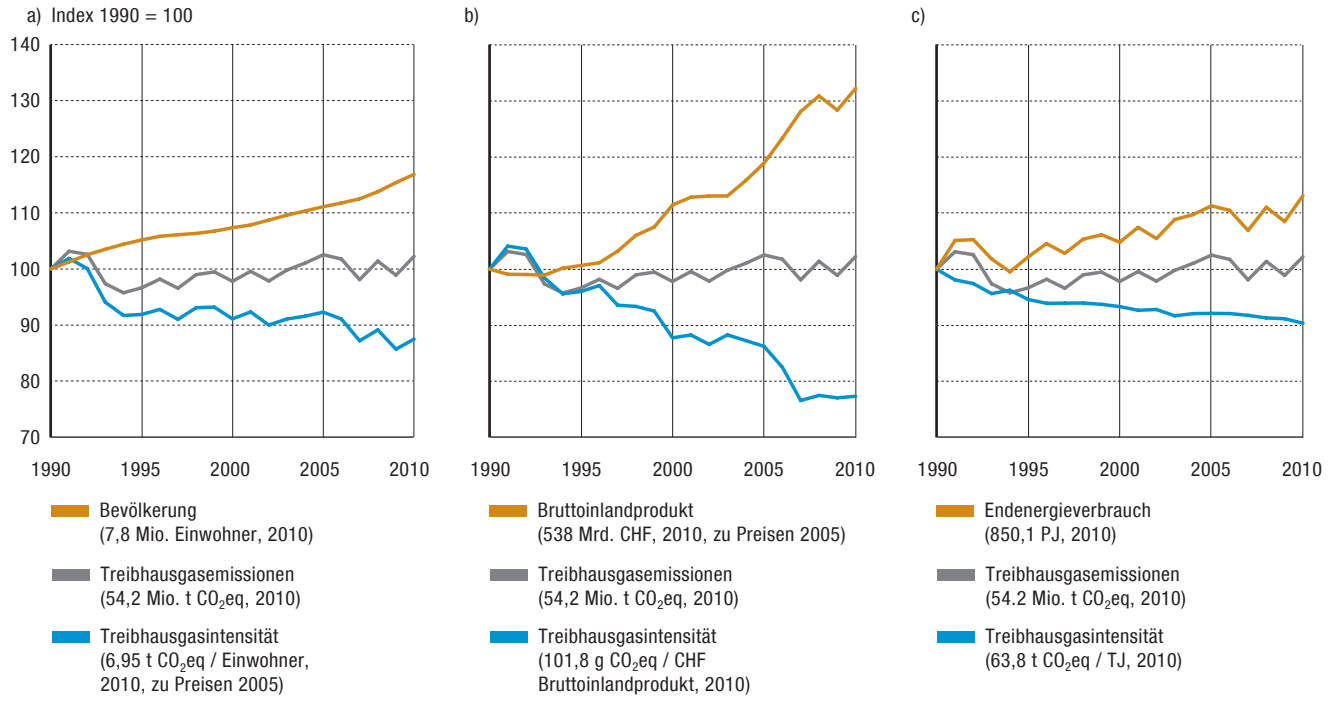
Die synthetischen Gase HFC, PFC und SF_6 gab es 1950 noch nicht. Seit dem Verwendungsverbot der ozonschichtabbauenden synthetischen Gase FCKW und HFCKW in den 1990er-Jahren hat ihre Anwendung stark zugenommen (Abbildung 14). Alle synthetischen Gase haben ein sehr hohes globales Erwärmungspotenzial (1000- bis 24 000-mal höher als dasjenige von CO_2) und verbleiben während Jahrhunderten bis Jahrtausenden in der Atmosphäre. Synthetische Gase werden insbesondere in der Kältetechnik, bei der Herstellung synthetischer Schaumstoffe, als elektrische Isolatoren, als Lösungsmittel sowie in Druckgaspackungen verwendet.

3.2.2 Treibhausgasintensität

Treibhausgasintensitäten zeigen den Ausstoss von Treibhausgasen bezogen auf verschiedene sozioökonomische Grössen wie beispielsweise Bevölkerungsentwicklung, Bruttoinlandsprodukt (BIP) oder Endenergieverbrauch (Abbildung 16). Die

Abb. 16 > Intensität der Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen im Verhältnis zu a) Bevölkerung, b) BIP und c) Endenergieverbrauch (ohne Berücksichtigung der Emissionen der internationalen Luftfahrt), 1990–2010.



Quellen: BFE (2011a), BFS (2012d,g), Schweizerische Eidgenossenschaft (2012)

Treibhausgasintensität der einzelnen Sektoren ist in Kapitel 3.1 dargestellt.

Trotz Bevölkerungswachstum ist seit 1990 eine Stabilisierung der Treibhausgasemissionen zu beobachten. Die Treibhausgasemissionen pro Kopf der Bevölkerung sind im Zeitraum 1990–2010 um 14 % gesunken (von 7,95 auf 6,95 Tonnen CO_2eq).

Auch der Anstieg des Bruttoinlandprodukts[19] hat zu keiner Erhöhung der Emissionen geführt. Eine relative Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Treibhausgasemissionen ist feststellbar. Die Treibhausgasintensität pro Franken BIP ging im Zeitraum 1990–2010 um 23 %, d. h. von 132 auf 102 g CO_2eq zurück. Ursachen hierfür sind die Tertiarisierung (Umwandlung der Volkswirtschaft von einer Industrie- hin zu einer Dienstleistungsgesellschaft), die Steigerung der Energieeffizienz und die Auslagerung der energieintensiven Güterherstellung (Schweizerische Eidgenossenschaft 2009).

Der Endenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen sind zwar beide witterungsabhängig, aber ihre Entwicklungen zeigen unterschiedliche Tendenzen. Die Treibhausgasintensität des Endenergieverbrauchs sank, wobei der Rückgang im ersten Jahrzehnt (–7 %) ausgeprägter war als im zweiten (–3 %). Diese sinkende Tendenz ist in erster Linie auf die verbesserte Energieeffizienz, die Bevorzugung nicht fossiler Brennstoffe, die Verlagerung von Erdöl auf Erdgas und den vermehrten Einsatz von Elektrizität zurückzuführen (BFE 2011b).

Die Entwicklung der drei Indikatoren zeigt, dass die Intensität der Treibhausgasemissionen sinkt. Die Anstrengungen müssen jedoch fortgesetzt werden, um eine dauerhafte Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Treibhausgasemissionen zu sichern. Mit anderen Worten: Die Emissionen müssen trotz steigenden Bevölkerungszahlen, wachsendem BIP und höherem Endenergieverbrauch nicht nur stabilisiert sondern gesenkt werden.

3.2.3 Die Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich

Die CO_2-Emissionen stellen den grössten Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen. Im Jahr 2008 machten sie global gesehen 76 % aller Treibhausgasausstösse aus. Die Anteile von CH_4, von N_2O und von den synthetischen Gasen lagen jeweils bei 16, 6 und 2 % (IEA 2011). In den letzten 40 Jahren sind die CO_2-Emissionen aus menschlichen Tätigkeiten explosionsartig angestiegen (+80 %).

Die Entwicklung bei den CO_2-Emissionen ist zum grössten Teil durch den Verbrauch fossiler Energien begründet. In den im Anhang I der Klimakonvention[20] aufgeführten Ländern liegt der Anteil der energiebedingten CO_2-Emissionen gegenwärtig zwischen 90 und 99 %. In den übrigen Ländern schwankt er stark und bleibt zuweilen unter 10 %. Die Rodung der Wälder ist für 7 % der gesamten weltweiten CO_2-Emissionen verantwortlich.

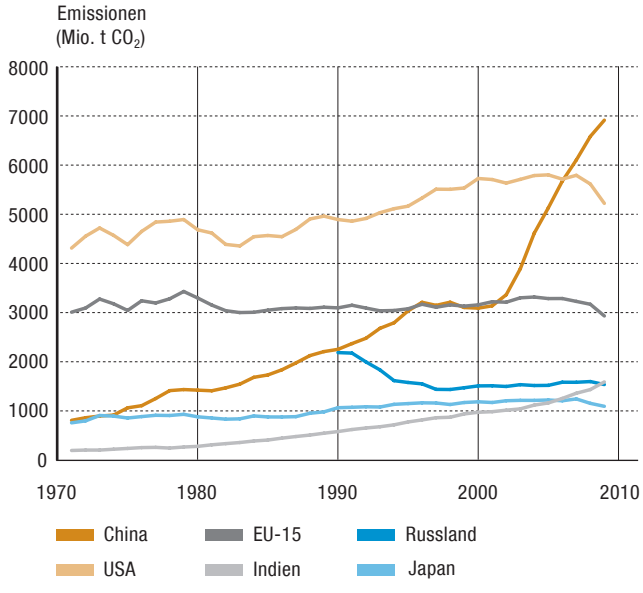
Die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger sind in den «Anhang I Ländern» seit 2000 relativ stabil und vergleichbar mit denen im Jahr 1990. 2009 war auf Grund der Wirtschaftskrise ein markanter Rückgang von 6,4 % gegenüber dem Vorjahr feststellbar. In den «Nicht-Anhang I Ländern», besonders in Asien und im Nahen Osten, steigen die CO_2-Ausstösse aus der Verbrennung fossiler Energieträger kontinuierlich an. Von 1990 bis 2009 nahmen die durchschnittlichen Emissionen dort um 132 % zu, was einen weltweiten Anstieg um 38 % bewirkte. Für diese globalen Trends sind in erster Linie die Zunahme bei der Energie- und Wärmeerzeugung sowie der Verkehr verantwortlich.

Die Analyse der CO_2-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger (IEA 2011) im Zeitraum 1990–2009 zeigt, dass zwei Drittel aller energiebedingten Emissionen von den zehn wichtigsten Emissionsländern der Erde stammen. Im Jahr 2009 vereinten alleine China und die USA 41 % dieser Emissionen auf sich.

Die Emissionen Chinas und Indiens haben sich aufgrund ihrer wirtschaftlichen Entwicklung und wegen des markanten

Abb. 17 > Energiebedingte CO_2-Emissionen im internationalen Vergleich.

Entwicklung der Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in den fünf wichtigsten Emissionsländern und in der Europäischen Union der Fünfzehn (EU-15), 1990–2009.



Quelle: IEA (2011)

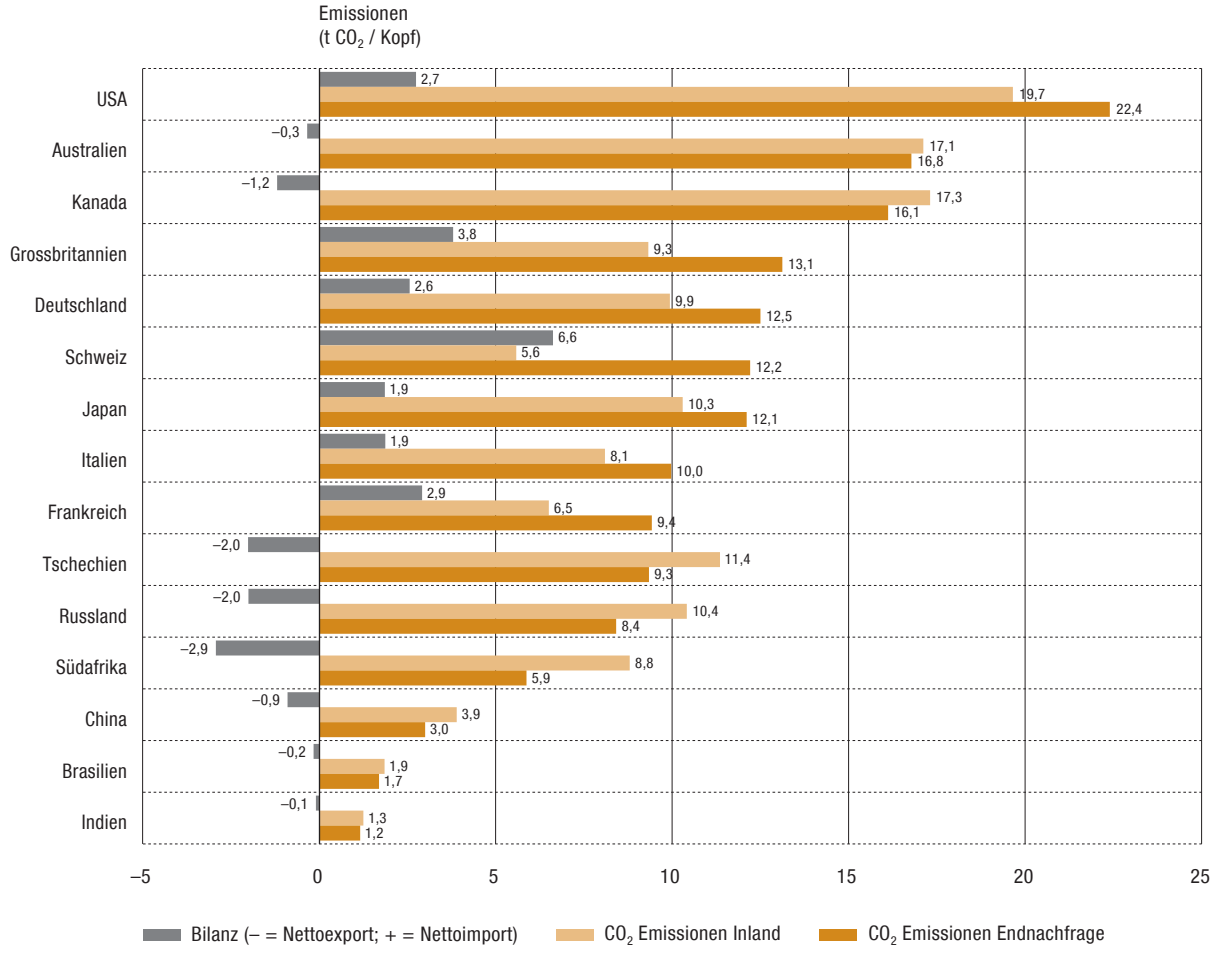
Anstiegs der Energie- und Wärmeerzeugung in dieser Periode besonders stark erhöht (Abbildung 17). Die vermehrte Energieerzeugung aus Kohle führte in diesen Schwellenländern zu einer deutlichen Zunahme der Emissionen. Mit 5,1 und 1,4 Tonnen CO_2 pro Einwohner sind die Pro-Kopf-Emissionen dieser Schwellenländer niedriger bzw. auf ähnlichem Niveau wie die in der Schweiz (5,4 t CO_2 pro Einwohner), bleiben aber deutlich unterhalb der Pro-Kopf-Werte der USA (16,9 t pro Einwohner).

Infolge des wirtschaftlichen Niedergangs nach der Auflösung der UdSSR sind die CO_2-Emissionen in Russland von 1990 bis 1998 um 35 % gesunken. Seitdem halten sich die Ausstösse des Landes trotz eines sehr leichten Anstiegs auf relativ konstantem Niveau.

Die USA, Japan und die Europäische Union der Fünfzehn (EU-15) waren 1971 die Hauptverursacher der energiebedingten CO_2-Emissionen. Diese Situation war vornehmlich in der prosperierenden Wirtschaftslage begründet (hohes BIP und hohe Emissionen gingen damals Hand in Hand). Das US-amerikanische und das japanische BIP haben sich seither nahezu verdreifacht, aber die Emissionen sind vergleichsweise nur um 21 bzw. 44 % gestiegen. Für Japan ist die Emissionsreduktion schwieriger, weil die energiebedingte CO_2-Intensität des BIP dort seit jeher niedriger war als diejenige der USA.

Abb. 18 > CO_2-Emissionen pro Kopf im Ländervergleich (Stand 2004)

CO_2-Emissionen pro Kopf der Produktion im Inland, der Handelsbilanz und der Endnachfrage verschiedener Länder im Jahr 2004 (die Zahlen berücksichtigen nur die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe [exkl. internationaler Flugtreibstoffe] und Emissionen aus der Zementproduktion).



Quelle: Peters et al. (2011)

Brasilien, ein weiterer grosser Treibhausgasemittent der Welt, wird in dieser Statistik nicht berücksichtigt, weil seine Emissionen im Wesentlichen durch das Abholzen der Urwälder verursacht werden. In der Liste der wichtigsten energiebedingten CO_2-Emissionen nimmt Brasilien nur den 18. Rang ein.

3.2.4 CO_2-Emissionen durch Konsum und Produktion der Schweiz

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls sind die im Inland entstehenden Emissionen massgebend für die nationale Treibhausgasbilanz. Darüber hinaus ist die Schweiz verantwortlich für zusätzliche Emissionen: Weil wir viele Güter importieren, fällt ein grosser Teil der von unserem Konsum verursachten Treibhausgasemissionen im Ausland an. Um die durch den Konsum verursachte Bilanz der Schweizer Treibhausgasemissionen zu ermitteln, müssen importierte Emissionen addiert bzw. exportierte Emissionen abgezogen werden.

Die nationale Emissionsbilanz von Volkswirtschaften, die viele Güter und Dienstleistungen aus dem Ausland beziehen, zeigt damit nur einen Teil der Realität: Die Emissionen von in die Schweiz importierten Gütern erscheinen im Treibhausgasinventar des Herstellerlandes (UNFCCC 2012). 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 der Schweiz beträchtlich (Abbildung 18): Im Jahr 2004, für das vergleichbare Daten verschiedener Länder verfügbar sind, betrug die gesamte Pro-Kopf-Emission inklusive Importen und Exporten von Emissionen aus dem Warenverkehr 12,2 Tonnen CO_2, ohne importierte und exportierte Emissionen hingegen nur 5,6 Tonnen CO_2 (Peters et al. 2011). In dieser Berechnung wurden lediglich die energiebedingten CO_2-Emissionen quantifiziert. Die Emissionen weiterer Treibhausgase (wie beispielsweise CH_4 oder N_2O) sind nicht inbegriffen. Unter Berücksichtigung der hohen Importquote und des hohen Konsumniveaus bewegt sich die Schweiz bei den Pro-Kopf-Emissionen des Konsums folglich im Mittelfeld der OECD-Staaten. Aktualisierte Daten für die Schweiz bis 2008 sind in BAFU (2011) verfügbar.

3.3 Entwicklung des Klimas in der Schweiz

Seit Messbeginn 1864 ist die durchschnittliche Temperatur in der Schweiz um rund 0,12 °C pro Dekade angestiegen. Während der gesamten Messperiode 1864 bis 2011 entspricht dies einer Temperaturzunahme von 1,7 °C. Die Temperatur der Landoberfläche der Nordhalbkugel nahm in der gleichen Periode um 1,1 °C zu. Der signifikante Temperaturanstieg ist wohl das eindrücklichste Signal der Klimaänderung in den vergangenen Jahrzehnten. In verschiedenen Klimaindikatoren, die mit der Temperatur im Zusammenhang stehen, wie die Anzahl warmer Jahre, Hitzetage, Tropennächte oder auch die Schneebedeckung im Mittelland, findet sich dieses Klimaänderungssignal wieder. Demgegenüber ist bei den Niederschlägen keine eindeutige Entwicklung ersichtlich.

Grundlagen

Klimatologische Aussagen zu Temperatur und Niederschlag werden oft als Abweichungen zu einem bestimmten Referenzwert dargestellt. Dadurch werden Messdaten verschiedener Nationen wie auch verschiedener Höhenlagen untereinander vergleichbar. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) empfiehlt, dazu die Standard-Normalperiode zu wählen, die dem Mittelwert über die Jahre 1961–1990 entspricht (WMO 2007). Der Einfachheit halber wird in dieser Publikation diese Periode als Referenzperiode bezeichnet.

Bei den klimatologischen Daten handelt es sich um Messungen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz. Wo immer möglich werden homogene Klimadaten verwendet (Begert et al 2005). Homogene Klimadaten sind bereinigt von Einflüssen, die nichts mit dem Klima und dessen Veränderung zu tun haben. Darunter fallen räumliche Verschiebungen von Stationen oder auch der Austausch eines Messsensors. Aussagen über die Signifikanz eines Trends basieren auf dem 95 %-Perzentil.

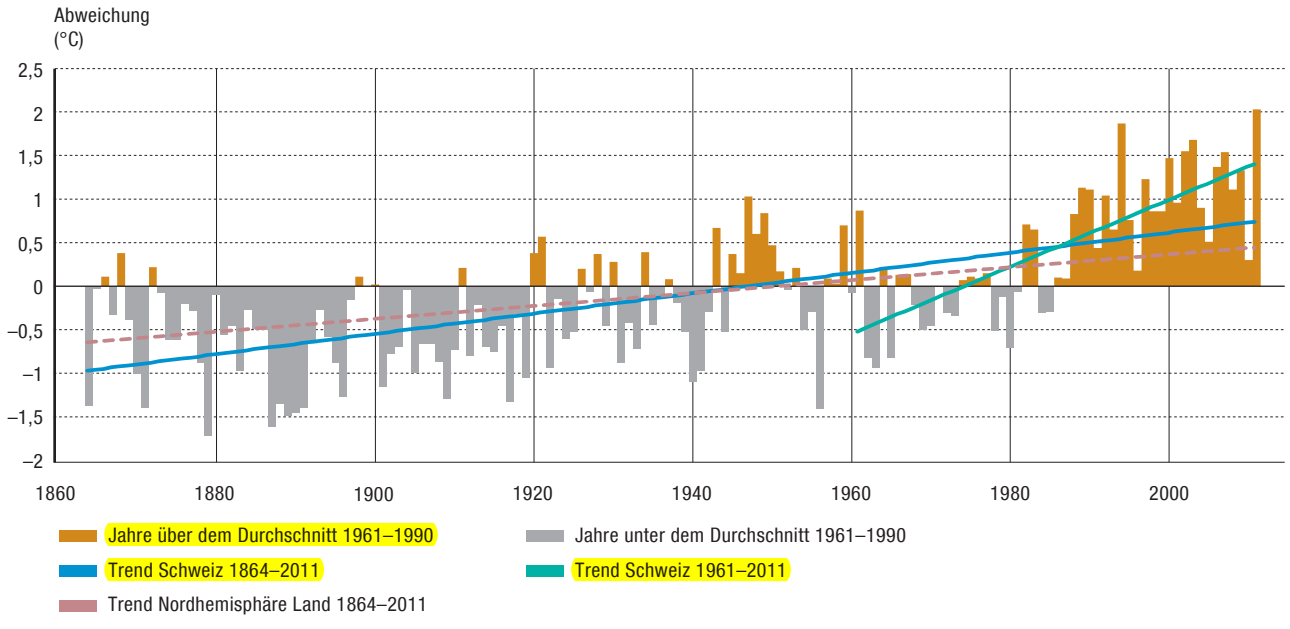
3.3.1 Entwicklung der Temperatur

Abbildung 19 zeigt die Abweichung der mittleren Jahrestemperaturen in der Schweiz seit 1864 relativ zur Referenzperiode 1961–1990. Die farbigen Linien zeigen den Temperaturtrend für zwei Zeitspannen, 1864–2011 (0,12 °C pro Dekade) und 1961–2011 (0,38 °C pro Dekade). Im Vergleich dazu ist mit der gestrichelten Linie der Temperaturtrend auf den Landoberflächen der Nordhalbkugel 1864–2011 (0,07 °C pro Dekade) dargestellt.

Warme und sehr warme Jahre haben sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts und zu Beginn des 21. Jahrhunderts gehäuft. Seit Mitte der 1980er-Jahre lagen alle Jahre über dem Referenzwert 1961–1990. Von den 20 wärmsten Jahren entfallen

Abb. 19 > Jahresmitteltemperaturen in der Schweiz

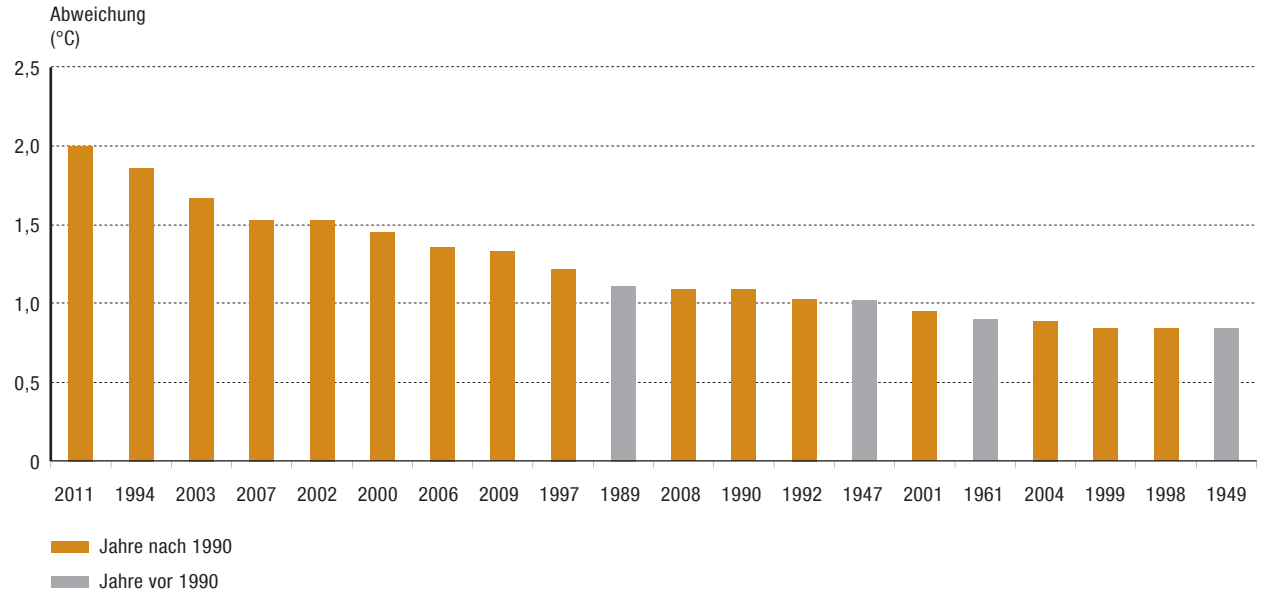
Abweichung der mittleren Jahrestemperatur in der Schweiz 1864–2011 relativ zur Referenzperiode 1961–1990.
Jährliche Abweichungen zur Referenzperiode (Balken) und Trendentwicklungen (Linien).



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 20 > Die wärmsten Jahre

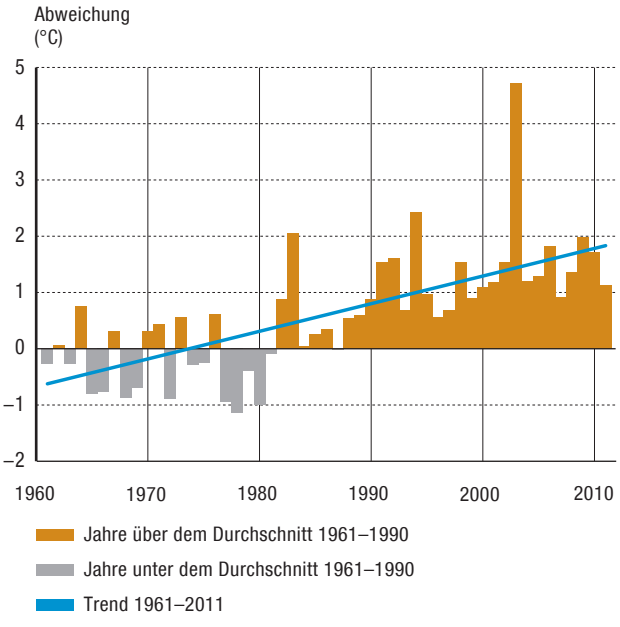
Rangliste der 20 wärmsten Jahre seit 1864. Die Balken zeigen die Abweichung der mittleren Jahrestemperatur zum Referenzwert 1961–1990 in °C.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 21 > Sommertemperaturen

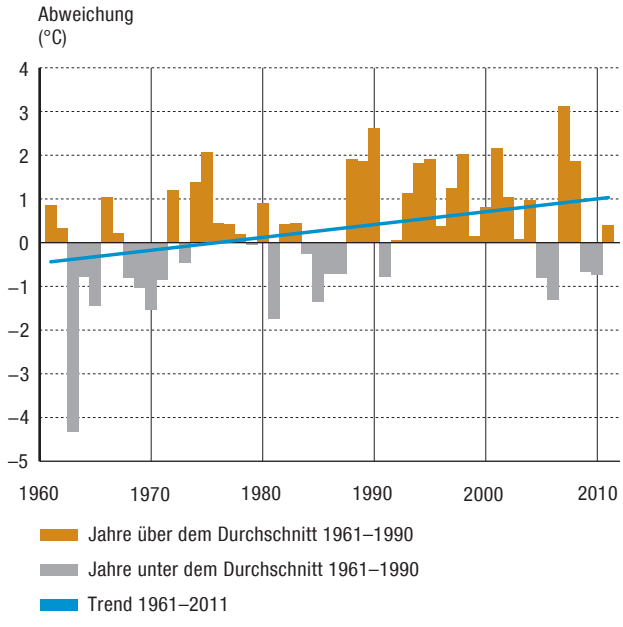
Abweichung der mittleren Sommertemperaturen in der Schweiz relativ zur Referenzperiode 1961–1990.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 22 > Wintertemperaturen

Abweichung der mittleren Wintertemperaturen in der Schweiz relativ zur Referenzperiode 1961–1990.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

16 auf den Zeitraum seit 1990, wie Abbildung 20 entnommen werden kann.

Für alle nachfolgend betrachteten, mit der Temperaturentwicklung in Verbindung stehenden Klimaindikatoren, wie Minimum- und Maximumtemperaturen, Hitze- und Frosttage usw., sind homogene Klimadaten erst ab 1961 verfügbar. Der Fokus der nun anschliessenden Temperaturdiskussion liegt deshalb auf der Periode 1961–2011.

Als Folge der Häufung warmer und sehr warmer Jahre ab Mitte der 1980er-Jahre fällt der Anstieg der mittleren Jahrestemperatur in der Schweiz höher aus, wenn nur Messungen nach 1961 betrachtet werden. In diesem Zeitraum verläuft die Temperaturzunahme rund dreimal so schnell (0,38 °C pro Dekade) wie in der gesamten Messperiode seit 1864 (Abbildung 19). Bei der saisonalen Betrachtung der Temperaturentwicklung ergibt sich dabei die folgende zusätzliche Änderung: Über die gesamte Messperiode 1864–2011 zeigt der Winter eine stärkere Temperaturzunahme (0,13 °C pro Dekade) als der Sommer. Auf der Basis der Messungen ab 1961 hingegen wirken sich die klimatischen Veränderungen im Sommer stärker aus als im Winter (+0,49 °C gegenüber +0,29 °C pro Dekade, Abbildung 21 und 22).

In den vergangenen rund 50 Jahren ist der Sommer in der Schweiz also rund 2,5 °C, der Winter rund 1,5 °C wärmer geworden. Modellrechnungen zufolge soll sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren fortsetzen und beschleunigen (IPCC 2007a). In der Schweiz wird in den nächsten 50 Jahren (bis 2060) ein zusätzlicher Temperaturanstieg um 1,7 bis 3,7 °C im Sommer und um 1,3 bis 3,2 °C im Winter gegenüber der Referenzperiode 1980–2009 erwartet (CH2011 2011), falls keine griffigen globalen Interventionsmassnahmen umgesetzt werden.

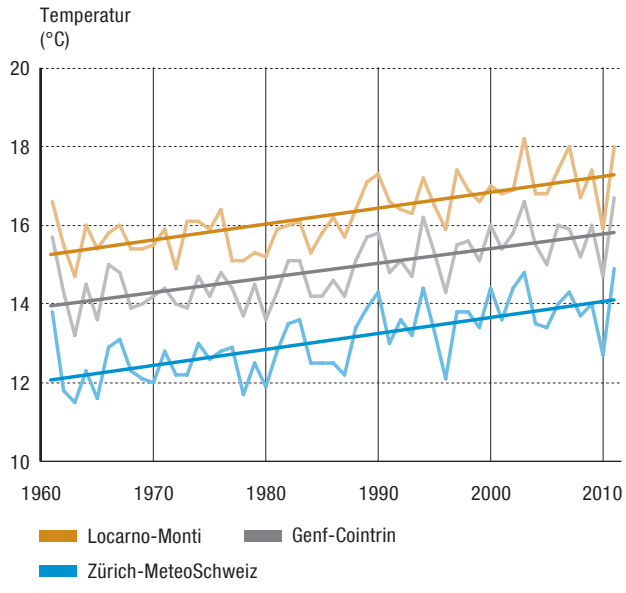
In der nun folgenden Betrachtung verschiedener mit der Temperatur verknüpfter Klimaindikatoren kann nicht mehr auf eine gesamtschweizerische Analyse zurückgegriffen werden, da die Klimaindikatoren die Eigenheiten des regionalen Klimaregimes und auch der Höhenlage wiedergeben (z. B. die unterschiedliche Anzahl Hitzetage zwischen Alpennordseite und Alpensüdseite). Eine Mittelung über die ganze Schweiz ist somit wenig sinnvoll. Stellvertretend für die verschiedenen Klimaregionen der Schweiz werden die Messstationen Locarno-Monti (Südschweiz, 367 m ü. M.), Genève-Cointrin (Westschweiz, 420 m ü. M.) und Zürich-MeteoSchweiz (Nordostschweiz, 556 m ü. M.) betrachtet.

3.3.2 Tagesmaximum- und Tagesminimumtemperaturen

Vor der Automatisierung wurden diese Werte mit speziellen Maximum- und Minimumthermometern erfasst. Seit der Automatisierung ab Beginn der 1980er-Jahre erfolgen die Messungen kontinuierlich alle 10 Minuten. Als Tagesmaximum-

Abb. 23 > Tagesmaxima

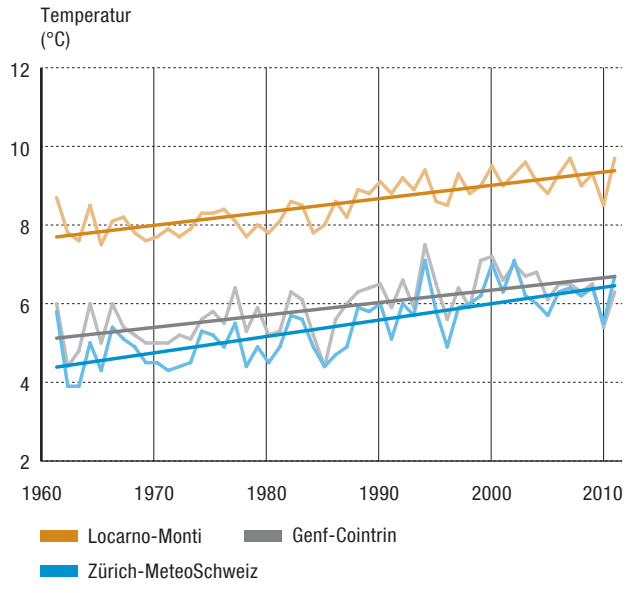
Jahresmittelwert der Tagesmaximumtempera-tur zwischen 1961 und 2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 24 > Tagesminima

Jahresmittelwert der Tagesminimumtemperatur zwischen 1961 und 2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

und Tagesminimumtemperatur gilt entsprechend der höchste und der tiefste 10-Minuten-Wert eines Tages.

Die Entwicklungen der Tagesmaximum- und Tagesminimumtemperatur zwischen 1961 und 2011 in Locarno-Monti, Genf und Zürich sind aus Abbildung 23 und Abbildung 24 ersichtlich. Dargestellt sind die Mittelwerte aller Tagesmaxima bzw. aller Tagesminima eines Jahres. Durch die Verwendung der absoluten Werte (im Gegensatz zu den Abweichungen vom Referenzwert) kommen die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in den drei Regionen schön zum Ausdruck. Wie erwartet liefert der tief liegende Standort in der Südschweiz die höchsten, der etwas erhöht liegende Standort in der Nordostschweiz die tiefsten Maximumtemperaturen. In allen drei Regionen zeigen sich jedoch dieselben Trends. Die Jahresmittelwerte der Tagesmaximumtemperaturen sind in den letzten 50 Jahren an allen drei Standorten um rund 0,4 °C pro Dekade angestiegen. Ein ähnliches Muster zeigen die Jahresmittelwerte der Tagesminimumtemperaturen (Abbildung 24). Hier beträgt die Erhöhung 0,3 bis 0,4 °C pro Dekade.

Die Jahresmitteltemperatur (Mittelwert aller Tagesmitteltemperaturen) ist im gleichen Zeitraum an allen drei Standorten ebenfalls um 0,4 °C pro Dekade angestiegen. Damit zeigt sich, dass die Zunahme der Tagesmaximum-, der Tagesminimum- und der Tagesmitteltemperatur zwischen 1961 und 2011 an diesen Standorten parallel erfolgte.

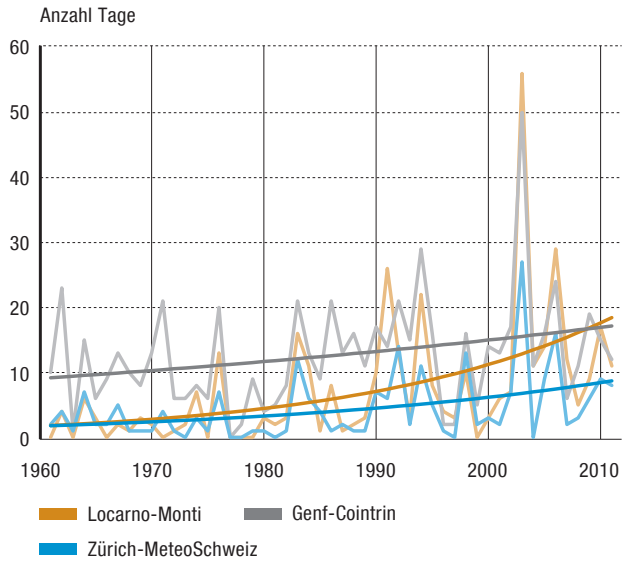
3.3.3 Hitze- und Frosttage, Tropennächte und Tautage

Als Hitzetage gelten Tage mit einer Maximumtemperatur von 30 °C oder mehr. An Frosttagen sinkt die Minimumtemperatur unter 0 °C. In Tropennächten fallen die Temperaturen nicht unter 20 °C. Streng genommen dürften für die Analyse von Tropennächten also nur die Nachtminima verwendet werden. Der WMO-Indikator «Tropennacht» verwendet jedoch vereinfachend die Minimumtemperatur des gesamten Tages (Tagesminimumtemperatur). An Tautagen sinkt das Thermometer nicht unter 0 °C.

Die Anzahl Hitzetage hat in den letzten Jahrzehnten zugenommen (Abbildung 25). Während im Tessin in den 1960er-Jahren im Durchschnitt ein bis zwei Hitzetage pro Jahr auftraten, sind es heute zwischen 15 und 20. Die Zunahme liegt hier also bei vier zusätzlichen Hitzetagen pro Dekade. An den Messstandorten Genf und Zürich ist eine Zunahme von ein bis zwei Hitzetagen pro Dekade festzustellen, wobei Genf heute mit 15 bis 20 ähnlich viele Hitzetage pro Jahr wie Lugano verzeichnet, Zürich hingegen heute bei nur knapp zehn Hitzetagen pro Jahr liegt. Markant zeigt sich der Hitzesommer 2003 in Abbildung 25. Gemäss CH2011 (2011) wird sich der Trend zu mehr Hitzetagen im Laufe des 21. Jahrhunderts fortsetzen, und gleichzeitig ist auch mit zunehmend höheren Tagesmaxima zu rechnen.

Abb. 25 > Hitzetage

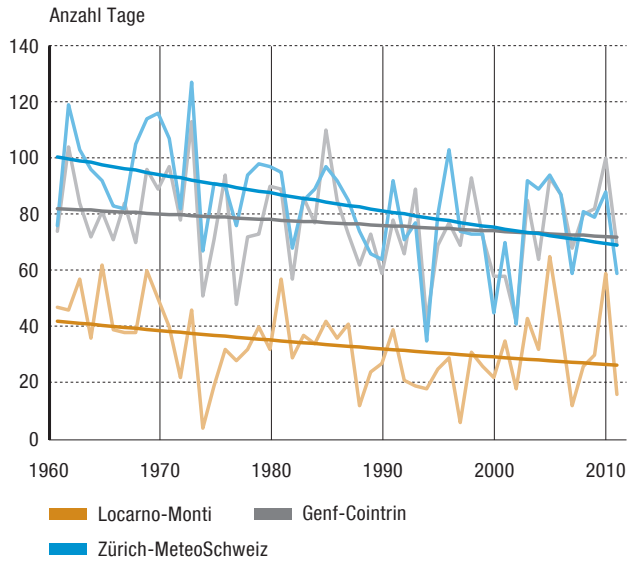
Anzahl Tage pro Jahr mit einer Maximumtemperatur von 30 °C oder mehr.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 26 > Frosttage

Anzahl Tage pro Jahr mit einer Minimumtemperatur unter 0 °C.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Die Anzahl Frosttage hat seit den 1960er-Jahren an den Standorten Locarno-Monti und Zürich signifikant abgenommen (Abbildung 26). In Locarno-Monti beträgt die Abnahme zwei, in Zürich sechs Frosttage pro Dekade. Am Standort Genf ist keine signifikante Abnahme der Frosttage festzustellen. CH2011 (2011) geht davon aus, dass Tage mit extrem tiefen Temperaturen in den kommenden Jahrzehnten immer seltener werden.

Tropennächte (Abbildung 27) sind auf der Alpennordseite höchst selten und haben sich seit den 1960er-Jahren nur moderat gehäuft. Signifikante Änderungen sind hier nicht festzustellen. Auf der Alpensüdseite ist im gleichen Zeitraum eine Zunahme von zwei bis drei Tropennächten pro Dekade zu verzeichnen. Auffallend ist die Zunahme seit Beginn der 1980er-Jahre. Im Hitzesommer 2003 wurden für die Station Locarno-Monti gar 40 Tropennächte gezählt (Abbildung 27, ausserhalb der Skala). Tropennächte gelten als besonders belastend für betagte oder körperlich geschwächte Personen. Die Entwicklung zu mehr Tropennächten dürfte sich in Zukunft zuspitzen.

Tautage sind insbesondere in den letzten Jahren häufiger vorgekommen. Die Zunahme der Anzahl Tautage ist speziell für hochalpine Gebiete von Bedeutung. Aufgrund eines erhöhten Auftaurisikos wird die Stabilität von Permafrostgebieten gefährdet, was zu Steinschlag und Felssturz führen kann (vgl. Kapitel 3.4.2). Auch die Verankerung von Anlagen im Boden, wie etwa bei Luftseilbahnen, kann dadurch vermindert werden.

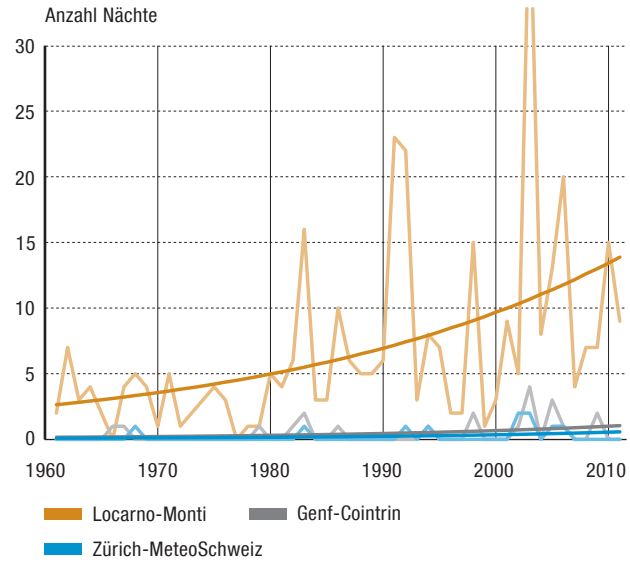
Abbildung 28 zeigt die Entwicklung der Tautage auf dem Säntis (2502 m ü. M.), auf dem Weissfluhjoch (2690 m ü. M.) sowie auf dem Jungfraujoch (3580 m ü. M). Die Höhenlagen ab ca. 2500 bis 3000 m ü. M. gelten als am stärksten betroffen von Auftauprozessen des Permafrosts. Auf dem Weissfluhjoch ist eine Zunahme von sechs bis sieben Tautagen pro Jahrzehnt festzustellen. Auf dem Säntis bewegt sich die Zunahme zwischen vier und fünf Tautagen und auf dem Jungfraujoch zwischen zwei und drei Tautagen pro Jahrzehnt.

3.3.4 Entwicklung der Niederschläge

Anders als bei der Temperatur, die in allen Teilen der Schweiz einen sehr ähnlichen Entwicklungsverlauf zeigt – was den Zusammenzug zu einer gesamtschweizerischen Temperaturkurve rechtfertigt –, sind beim Niederschlag bedeutende regionale Unterschiede vorhanden. Mit der Darstellung einer gesamtschweizerischen Niederschlagsentwicklung würden die regionalen Unterschiede verschleiert, weshalb hier eine getrennte Betrachtung der Nordschweiz (Mittel der Messstationen Genf, Bern, Basel und Zürich) und der Südschweiz (Messstation Lugano) gewählt wird.

Abb. 27 > Tropennächte

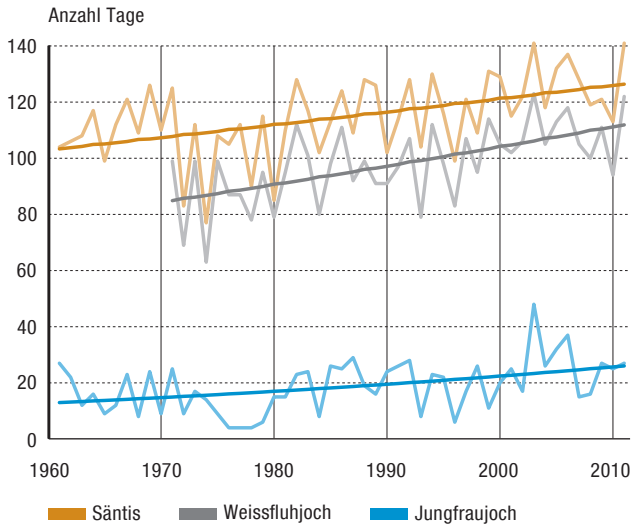
Anzahl Nächte pro Jahr mit Temperaturen über 20 °C.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 28 > Tautage

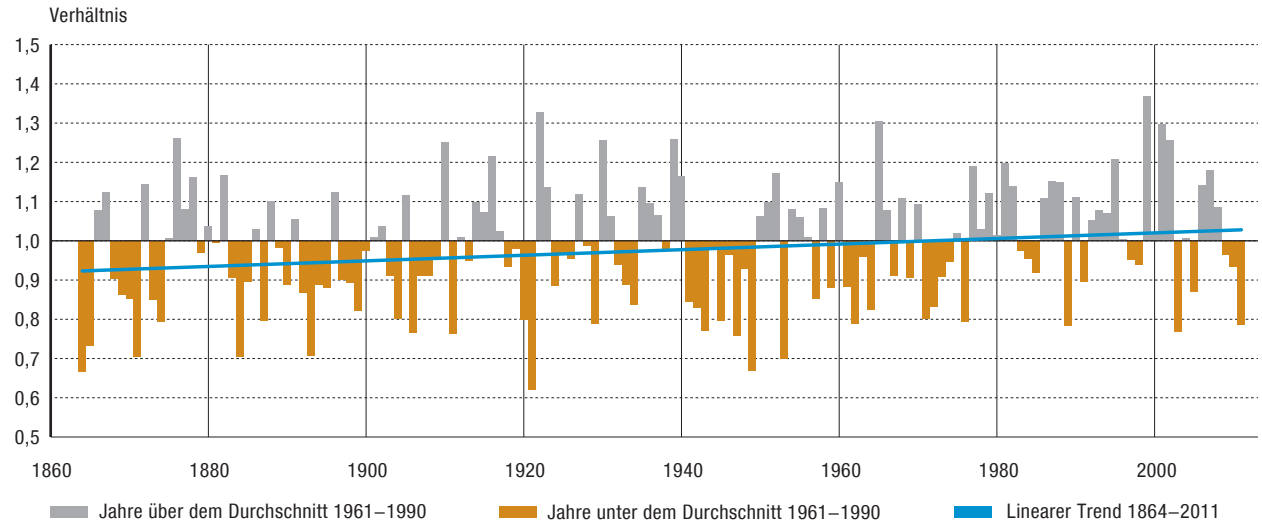
Anzahl Tage pro Jahr mit einer Tagesminimumtemperatur über 0 °C, gemessen an den Stationen Säntis (2502 m ü. M.), Weissfluhjoch (2690 m ü. M.) und Jungfraujoch (3580 m ü. M.).



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 29 > Jahressummen des Niederschlags in der Nordschweiz

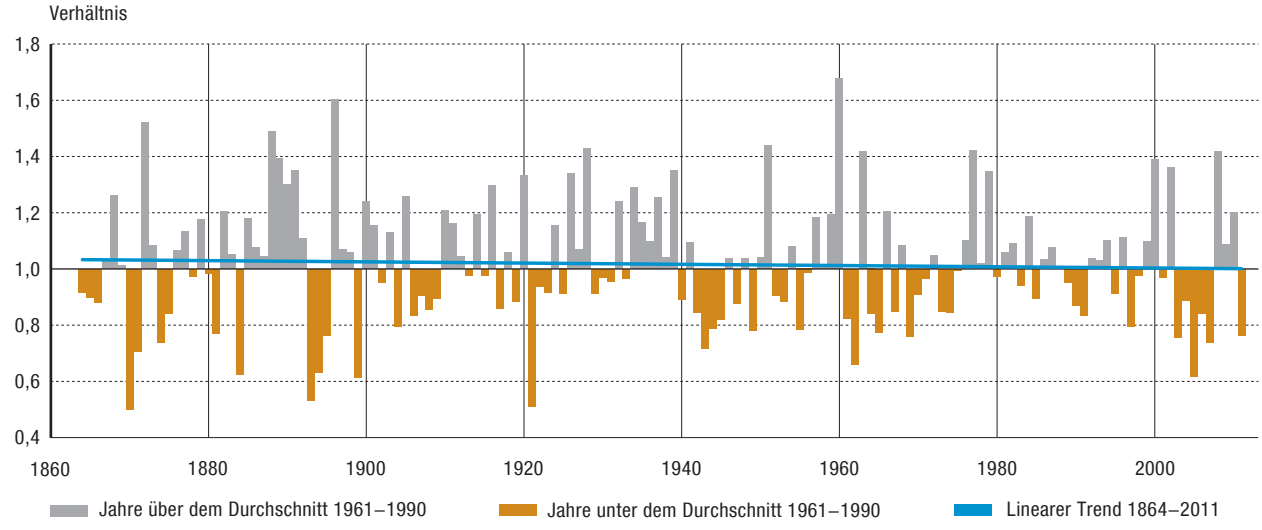
Abweichung des mittleren Jahresniederschlags relativ zur Referenzperiode 1961–1990.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 30 > Jahressummen des Niederschlags in der Südschweiz

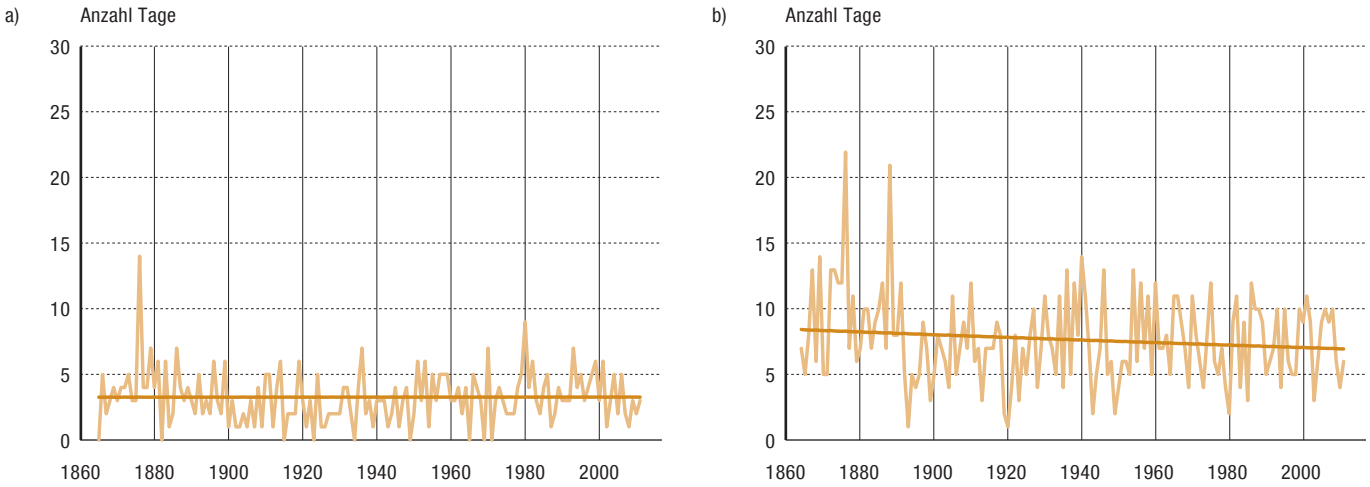
Abweichung des mittleren Jahresniederschlags relativ zur Referenzperiode 1961–1990.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 31 > Tage mit starken Niederschlägen Nordschweiz

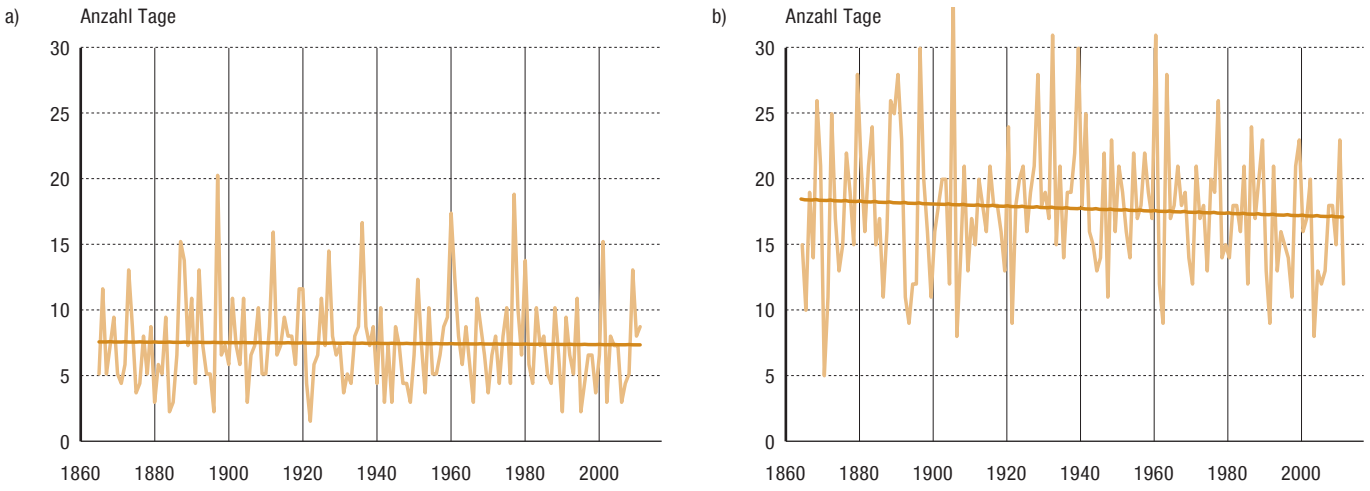
Anzahl der Tage mit starken Niederschlägen an der Messstation Zürich zwischen 1864 und 2011 a) im Winter- und b) im Sommerhalbjahr.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 32 > Tage mit starken Niederschlägen Südschweiz

Jahreszeitliche Anzahl der Tage mit starken Niederschlägen an der Messstation Lugano zwischen 1864 und 2011 a) im Winter- und b) im Sommerhalbjahr



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Die Entwicklung der Jahresniederschlagssumme in der Periode 1864–2011 zeigt in der Nordschweiz eine signifikante Zunahme von 0,7 % pro Dekade (Abbildung 29). Im zentralen Mittelland liegen die Jahresniederschlagssummen bei rund 1000 mm. Seit 1864 ist somit eine Zunahme der Jahresniederschlagssumme von etwas über 100 mm feststellbar. Das heisst, dass heute im Mittelland pro Jahr rund eine Monatssumme mehr Niederschlag fällt als vor rund 150 Jahren. Jahreszeitlich aufgegliedert ist allerdings nur im Winter eine signifikante Niederschlagszunahme von 2 % pro Dekade vorhanden. Die übrigen Jahreszeiten zeigen keine Niederschlagsänderung. Betrachtet man nur die Periode ab 1901, ist im Mittelland weder bei den Jahressummen noch bei den saisonalen Niederschlagssummen eine signifikante Änderung beobachtbar.

In der Südschweiz ist in der Periode 1864–2011 keine signifikante Niederschlagsänderung feststellbar, und zwar weder bei den Jahressummen (Abbildung 30) noch bei den saisonalen Summen.

3.3.5 Starke Niederschläge

Der hier verwendete Begriff «starker Niederschlag» auf der Basis der Schwelle > 20 mm darf nicht gleichgestellt werden mit seltenen Extremniederschlägen. Ein Tagesniederschlag von 20 mm wird in den meisten Gebieten der Schweiz jedes Jahr mehrmals registriert. Es handelt sich dabei also um ein häufigeres Ereignis. Als selten könnte zum Beispiel ein Niederschlagsereignis bezeichnet werden, das nur noch etwa alle zehn Jahre oder seltener zu erwarten ist. In Bern ist dies ab rund 65 mm, in Sitten ab 50 mm, in Davos ab 70 mm und in Lugano ab 130 mm Tagesniederschlag der Fall. Der Nachweis von Trends bei Extremereignissen stösst jedoch aufgrund ihrer Seltenheit an grundsätzliche Grenzen. Extreme Ereignisse sind deshalb ungeeignete Indikatoren für die Klimaänderung und werden in diesem Bericht nicht behandelt.

Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen die jahreszeitliche Entwicklung der Anzahl Tage mit starken Niederschlägen an der Messstation Zürich in der Nordschweiz und an der Messstation Lugano in der Südschweiz zwischen 1864 und 2011 jeweils für das Winter- und das Sommerhalbjahr. Die Analyse macht deutlich, dass einerseits auf der Alpensüdseite starke Niederschläge weit häufiger sind, dass andererseits diese sowohl nördlich als auch südlich der Alpen häufiger im Sommerhalbjahr fallen. Beidseits der Alpen sind in beiden Halbjahren keine signifikanten Trends zu mehr oder weniger Tagen mit starken Niederschlägen feststellbar. Auch die vier Jahreszeiten zeigen keine signifikanten Trends zu mehr oder weniger Tagen mit starken Niederschlägen.

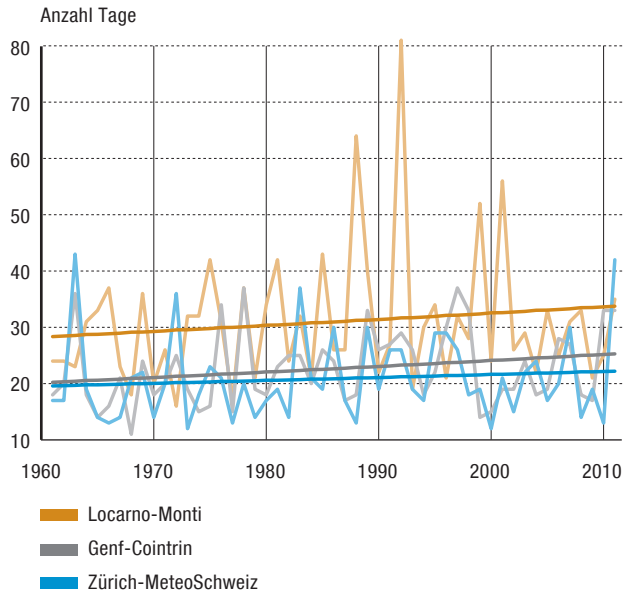
3.3.6 Trockenperioden

Von grosser Bedeutung, zum Beispiel für die Landwirtschaft, ist eine allfällige Verlängerung von Trockenperioden und Dürren. Eine einfache Grösse in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung der maximalen Anzahl zusammenhängender Tage ohne Niederschlag (oder nennenswerten Niederschlag, < 1 mm) (Abbildung 33). Für das Sommerhalbjahr zeigen die drei Standorte Locarno-Monti, Genf und Zürich tendenziell eine Zunahme der Länge der Trockenperioden von 0,5 bis 1 Tag pro Jahrzehnt bzw. rund 10 bis 20 % über die gesamte Zeitperiode. Allerdings sind keine signifikanten Trends vorhanden, und zu beachten ist auch die sehr grosse Variabilität von Jahr zu Jahr. Klimaszenarien geben Hinweise darauf, dass speziell im Sommer in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts eine deutliche Entwicklung hin zu mehr Trockenperioden zu erwarten ist (CH2011 2011).

Extreme Trockenperioden sind selten. Bekannte Beispiele brachten die Jahre 2003, 1976 und 1947 (Bader 2004, BAFU 2004, Schorer 1992). Wie bereits bei der Betrachtung extremer Niederschläge gilt auch hier die Feststellung, dass der Nachweis von Trends bei Extremereignissen aufgrund ihrer Seltenheit an grundsätzliche Grenzen stösst (Frei und Schär 2001). Als Indikator für die Klimaänderung sind extreme Trockenperioden deshalb ebenfalls ungeeignet.

Abb. 33 > Trockenperioden

Maximale Anzahl zusammenhängender Tage ohne nennenswerten Niederschlag während der Periode 1961–2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

3.3.7 Schneefall und Schneedecke

Die Neuschneemengen und die Anzahl Tage mit Schneedecke sind in komplexer Weise von der Temperatur und dem Niederschlag abhängig. Die Klimagrösse Schnee reagiert deshalb sehr empfindlich auf langfristige Änderungen der winterlichen Temperatur- und Niederschlagsbedingungen (Beniston 1997, Laternser und Schneebeli 2003, Marty 2008, Scherrer et al. 2004).

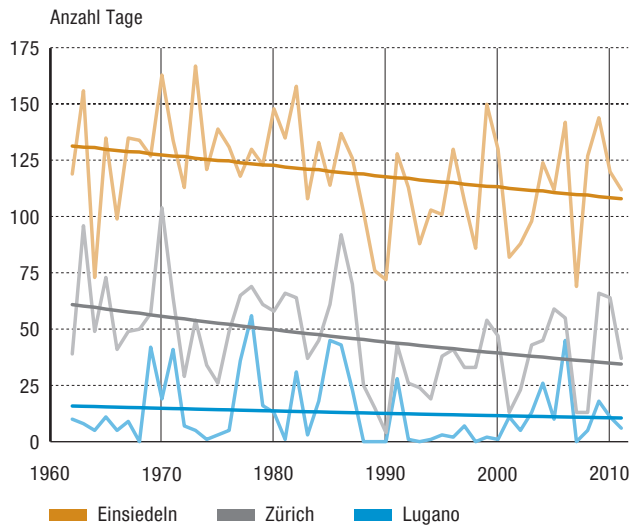
Eine ganz wesentliche Folge der Temperaturzunahme ist der Anstieg der Nullgradgrenze in den Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar) um rund 70 m pro Jahrzehnt in den letzten 50 Jahren (Scherrer et al. 2004). Vor allem in tieferen Lagen fällt der Niederschlag im Winter deshalb immer häufiger in Form von Regen. Die höheren Lagen verbleiben auch bei steigenden Wintertemperaturen meist über der Schneefallgrenze, womit hier die Problematik weniger stark ausgeprägt ist.

Als Konsequenz des winterlichen Temperatur und Nullgradgrenzenanstiegs ist ein Rückgang der Anzahl Tage mit Schneedecke (Abbildung 34) und der Neuschneesummen (Abbildung 35) feststellbar. Der Rückgang der Anzahl Tage mit Schneedecke beläuft sich am Standort Einsiedeln (910 m ü. M.) auf vier bis fünf Tage, am Standort Zürich (556 m ü. M.) auf fünf bis sechs Tage pro Dekade. Am Standort Lugano (273 m) ist kein signifikanter Trend feststellbar. Die Abnahme der Neuschneesummen liegt am Standort Einsiedeln bei rund 34 cm, am Standort Zürich bei rund 12 cm pro Dekade. Am Standort Lugano ist ebenfalls kein signifikanter Trend feststellbar.

Die Abbildung 36 zeigt 20-jährige gleitende Trends der Tage mit Schnee in verschiedenen Höhenlagen. Für jede der 71 Stationen und jedes Zeitfenster von 20 Jahren (1864–1883, 1865–1884, 1866–1885, …, 1991–2010, 1992–2011) wird der Wert der Steigung des linearen Trends berechnet und als offener Kreis dargestellt (die Kreisgrösse ist proportional zum Trend in Tagen pro 10 Jahre). Auch hier sind die stark negativen Trends gegen Ende des 20. Jahrhunderts an den bis 2000 m ü. M. verfügbaren Schneemessreihen klar zu erken-

Abb. 34 > Tage mit Schnee

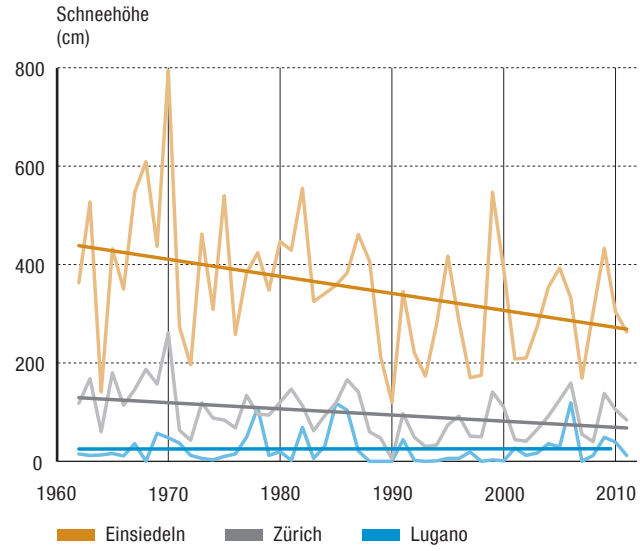
Anzahl Tage mit Schneebedeckung ≥ 1 cm (hydrologisches Jahr Oktober–September) für die Periode 1961–2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 35 > Neuschneemenge

Neuschneesummen in cm (hydrologisches Jahr Oktober–September) für die Periode 1961–2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

nen (orange Kreise). Vor allem in tieferen Lagen ist in jüngster Zeit eine leichte Erholung zu erkennen (graue Kreise).

Die winterliche Temperaturerhöhung und die damit verbundene geringere Schneesicherheit stellen für Gebiete in den Voralpen, für die der Wintertourismus bedeutsam ist, eine grosse Herausforderung dar. Bis ins Jahr 2050 dürfte die Schneegrenze um bis zu 350 m ansteigen (OcCC/ProClim 2007). Für Wintersportorte unter ca. 1500 m ü. M. wird es unter diesen Voraussetzungen schwierig, den Skibetrieb sicherzustellen.

3.3.8 Nullgradgrenze

Der Anstieg der Nullgradgrenze ist ein leicht verständliches Mass für die Klimaerwärmung und den Anstieg der Schneefallgrenze. Abbildung 37 zeigt den Verlauf der Nullgradgrenze für die Winter- und Sommermonate. Für beide Jahreszeiten steigt die Nullgradgrenze signifikant an mit rund 60 m pro Dekade im Winter und sogar mit rund 75 m pro Dekade im Sommer. Die Schwankungsbreite der Nullgradgrenze von Jahr zu Jahr ist im Winter deutlich grösser als im Sommer. Im Hinblick auf die zu erwartende Temperaturzunahme in den kommenden Jahrzehnten ist davon auszugehen, dass der Anstieg der Nullgradgrenze auch in Zukunft in ähnlichem Ausmass weitergeht.

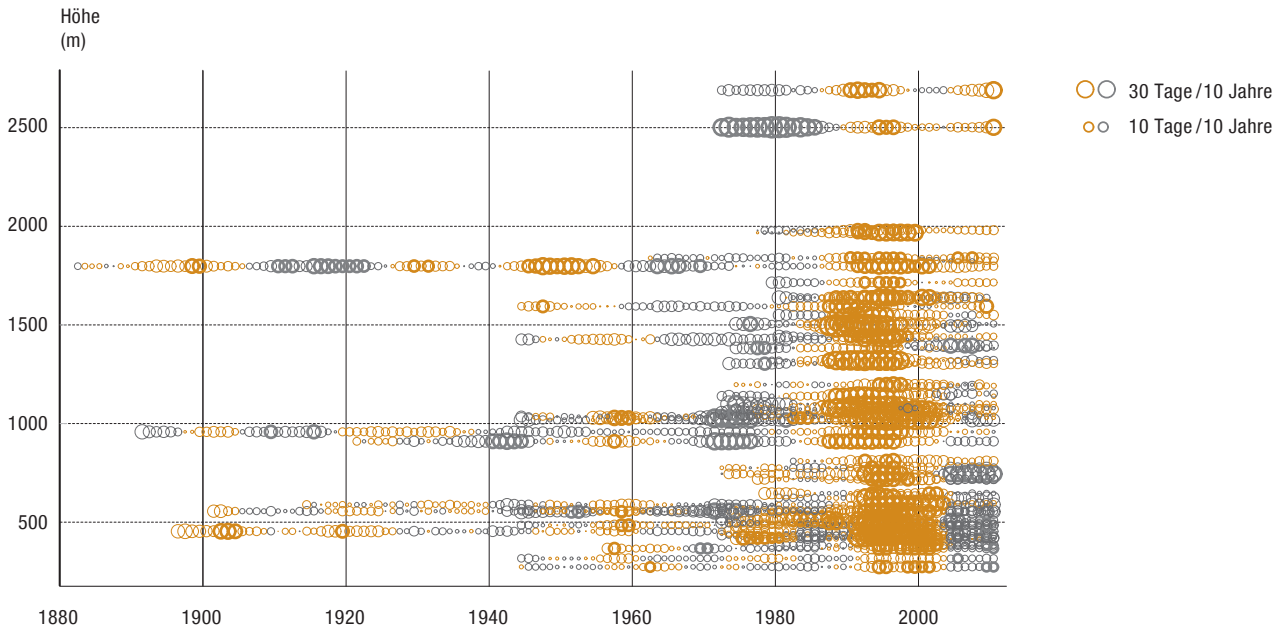
3.3.9 Sonnenscheindauer

Eine unter anderem für das Wetterempfinden zentrale Grösse ist die Sonnenscheindauer. Sie nimmt an den meisten Stationen bis etwa 1980 deutlich ab. Danach folgt im Allgemeinen eine starke Zunahme (Abbildung 38). So hat die Sonnenscheindauer von 1980–2011 etwa 250–400 Stunden oder rund +20 % für Genf und Zürich und rund +10 % für Locarno-Monti zugenommen. Über den gesamten Zeitraum 1961–2011 werden nur kleine Zunahmen beobachtet.

Da die Sonnenscheindauer direkt von der Bewölkung abhängt, sind die Ursachen für Perioden mit geringer bzw. mit hoher Sonnenscheindauer in der Variabilität der Wetterlagen zu suchen. Einerseits sind dabei Perioden mit gerin-

Abb. 36 > Gleitende Trends der Tage mit Schnee

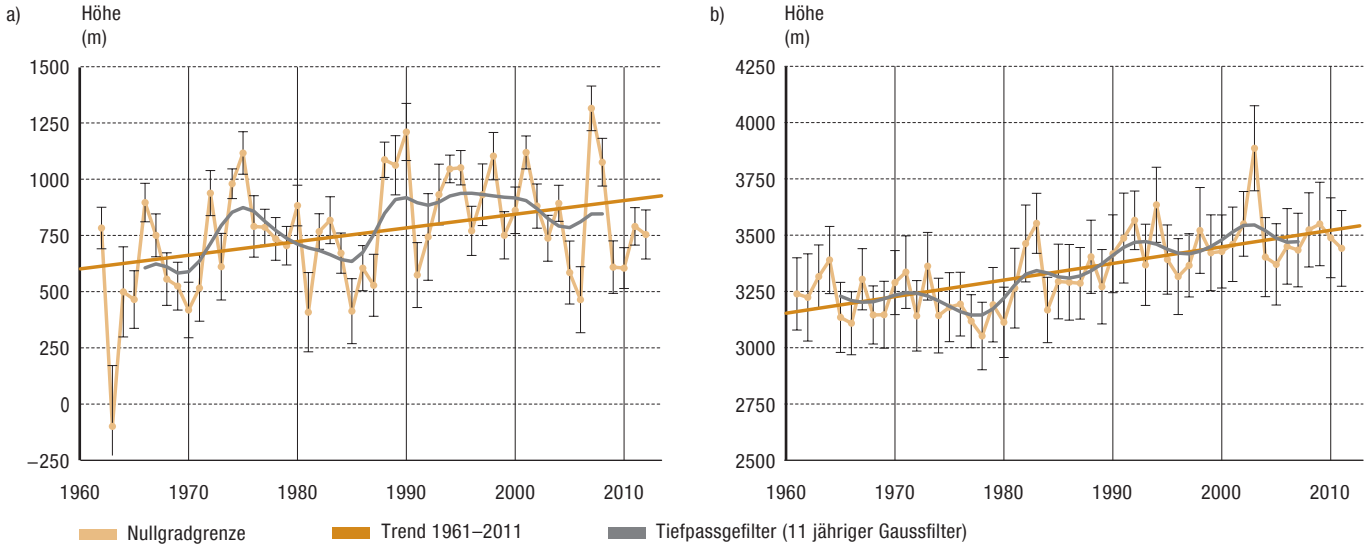
20 Jahre gleitende Trends der Tage mit Schneebedeckung ≥1cm an 71 MeteoSchweiz-Stationen in verschiedenen Höhenlagen während der Periode 1864/1865–2011/2012. Die Trends werden gegen die Stationshöhe (m ü. M.) jeweils am Ende der betreffenden 20-Jahres-Periode aufgezeichnet (z. B. im Jahr 2000 für die Periode 1981–2000). Graue Kreise zeigen eine Zunahme, orange Kreise eine Abnahme der Tage mit Schneebedeckung. Signifikante Trends sind fett dargestellt.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 37 > Verlauf der Nullgradgrenze

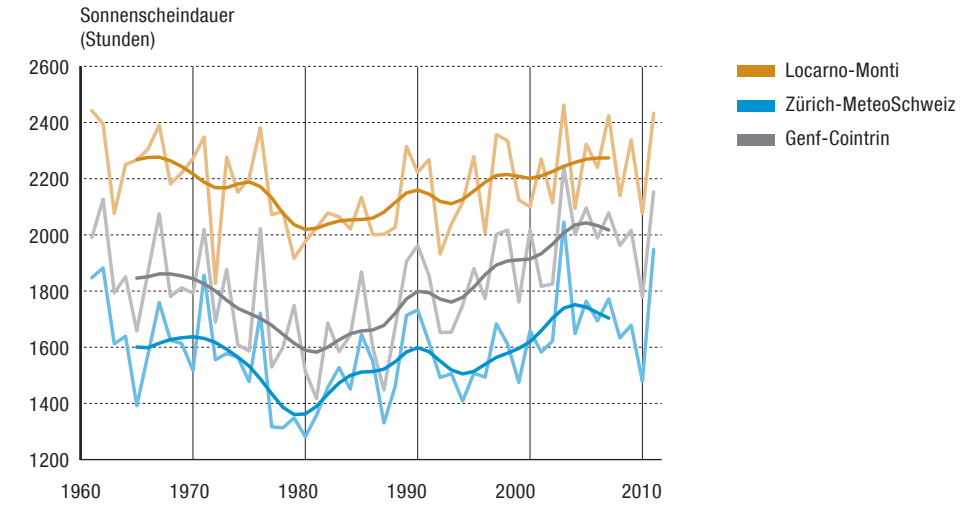
Verlauf der Nullgradgrenze a) im Winter und b) im Sommer bestimmt mit homogenen Temperaturdaten von 28 MeteoSchweiz-Bodenstationen während der Periode 1961/1962–2011/2012. Für jedes Jahr sind die Fehlerbalken der Nullgradgrenzenbestimmung angegeben (vertikale Linien).



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 38 > Sonnenscheindauer

Sonnenscheindauer in Stunden pro Kalenderjahr sowie tiefpassgefilterter Verlauf (11-jähriger Gaussfilter) für die Periode 1961–2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

ger Sonnenscheindauer bzw. mehr Bewölkung offensichtlich stärker tiefdruckbestimmt (häufigeres oder länger dauerndes Auftreten von Störungszonen), während Perioden mit hoher Sonnenscheindauer bzw. geringer Bewölkung entsprechend stärker hochdruckbestimmt sind. Andererseits nehmen vor allem in der kalten Jahreshälfte bei Messstationen in tiefen Lagen Perioden mit mehr oder weniger Nebel Einfluss auf die Jahressumme der Sonnenscheindauer.

3.4 Auswirkungen des Klimas auf den Naturraum und auf den Menschen

Die Klimaerwärmung wird bereits seit Langem für die Schmelze der Alpengletscher verantwortlich gemacht. Daneben gibt es aber eine ganze Reihe anderer Indikatoren, die die Folgen der Klimaänderungen auf den Naturraum der Schweiz belegen. Flüsse und Seen erwärmen sich, der Permafrost schmilzt, die Phänologie der Vegetation ändert sich, Vögel und Pflanzen migrieren in neue Lebensräume. Auch die Gesellschaft und die Wirtschaft sind indirekt mehr oder weniger starken Veränderungen ausgesetzt. Der Heizbedarf nimmt ab, der Bedarf an Klimatisierung steigt, und die Schneeverhältnisse in den Wintersportorten in tiefen Lagen verschlechtern sich. Zudem dürfte der Klimawandel auch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben, beispielsweise in Form von Atemwegserkrankungen (Asthma, Pollenallergien), von Erkrankungen, die durch die Luftverschmutzung verstärkt werden, die durch Insekten und infizierte Zecken übertragen werden oder die mit Hitzeperioden in Zusammenhang stehen. Oft sind die verfügbaren Datenreihen jedoch zu kurz, um eindeutige Kausalitäten herzustellen.

3.4.1 Hydrosphäre

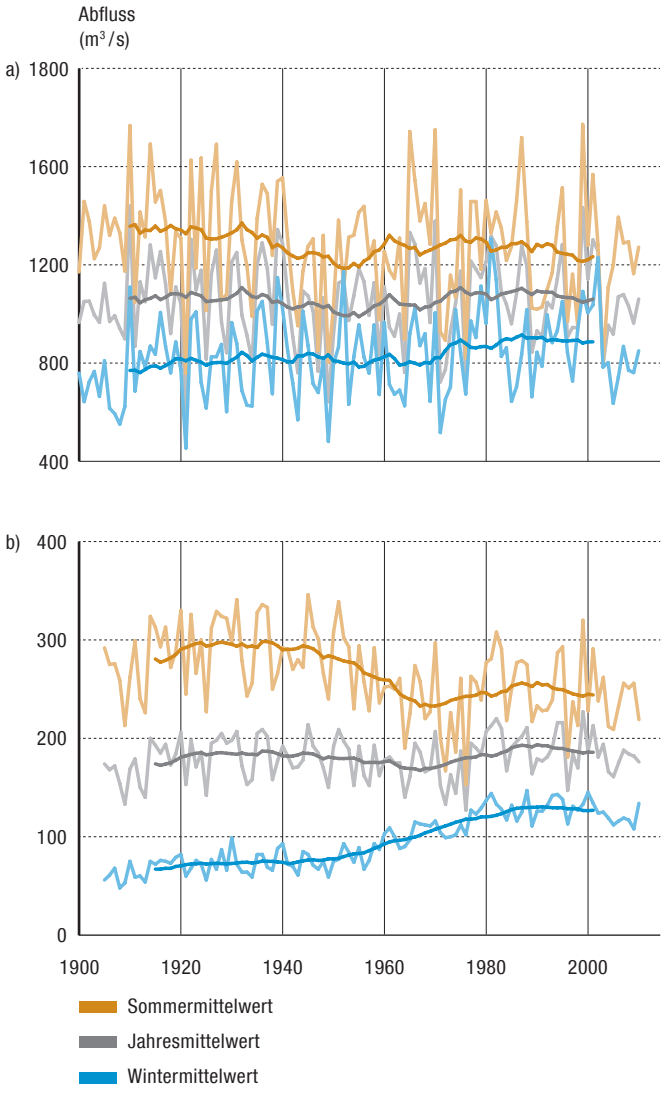
Abfluss der Fliessgewässer

Der saisonale Abfluss eines Fliessgewässers wird weitgehend von den Niederschlagsmengen bestimmt. Der Wasserhaushalt der Schweiz ist aber nicht nur von den Niederschlagsmengen abhängig, auch die Höhenlage des Einzugsgebiets und die Abflussrichtung (Alpennord- oder Alpensüdseite) wirken dabei mit (Weingartner und Aschwanden 1992). In der Alpenregion ist der Abfluss wegen der Schnee- und der Gletscherschmelze im Sommer am höchsten. Im Mittelland und im Jura, wo die Schneefälle geringer sind, werden keine erheblichen Verzögerungen bei den maximalen Abflussmengen verzeichnet. Der Abfluss ist also in erster Linie durch das Verhältnis von Niederschlag zu Verdunstung bestimmt. Aber auch andere Faktoren spielen hier eine Rolle, beispielsweise die Eigenschaften des Einzugsgebiets und die Versickerung. Seit rund 50 Jahren ist der natürliche Abfluss der Fliessgewässer zusätzlichen Schwankungen unterworfen, die in den Massnahmen zur Gewässerbewirtschaftung begründet sind. Zu den anthropogenen Eingriffen zählen in erster Linie Gewässerumleitungen, das Speichern von Wasser in Stauseen, Seeregulierungen, Einleiten von Kühlwasser und Entnahme für Bewässerungszwecke. Der kürzlich erschienene Synthesebericht des Projekts «Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer (CCHydro)» (BAFU 2012c) gibt einen umfassenden Überblick über die möglichen Modifikationen des hydrologischen Regimes.

Der zunehmende Druck, den die Klimaänderungen auf die Umwelt ausüben, zeigt sich in vielfältiger Weise in den hydrologischen Einzugsgebieten des Landes. Im Rhone- und im Rheinbecken hat die Klimaänderung die Jahresmittelwerte der Abflüsse kaum beeinflusst (Abbildung 39). Die saisonalen Abflüsse haben sich jedoch seit rund 20 Jahren deutlich verändert. Anhand von Abbildung 39 wird deutlich, dass die Sommerabflüsse zurückgehen und die Winterabflüsse steigen. Erklären lässt sich die Zunahme im Winter zum einen mit den leicht erhöhten Winterniederschlägen und zum anderen mit dem Einfluss der Temperatur auf die Schneefallgrenze. Ein

Abb. 39 > Abfluss der Fliessgewässer

Jahresmittelwerte und saisonale Mittelwerte (Sommer/Winter) für a) Rhein (Basel) und b) Rhone (Porte du Scex) 1900–2010. Die gleitenden Durchschnitte wurden über 20 Jahre berechnet.



Quelle: BAFU (2012d)

immer grösserer Teil der Niederschläge wirkt sich so ohne Verzögerung auf die Winterabflüsse aus. Die Veränderung bei den Sommerabflüssen ist durch die erhöhte Verdunstung infolge des zunehmend trockenen Klimas begründet sowie durch die geringeren Mengen an Gletscherschmelzwasser in den Quellregionen der Flüsse (geringere Schneeansammlung im Winter). Die saisonalen Unterschiede werden durch den Bau künstlicher Wasserbecken in der Alpenregion verstärkt. In den Höhenlagen werden im Sommer erhebliche Wassermengen gespeichert, damit sie im Winter zur Energieerzeugung genutzt werden können, was die Winterabflüsse zusätzlich erhöht. Bei den stark vergletscherten Einzugsgebieten ist die Tendenz anders (nicht dargestellt): Unter dem Einfluss steigender Temperaturen setzt die Gletscherschmelze früher ein, weshalb im Sommer wie auch im Winter stärkere Abflüsse zu beobachten sind (Hänggi et al. 2011).

Temperaturen der Fliessgewässer

Unter dem direkten Einfluss der Witterungsverhältnisse ändert sich die Temperatur der Fliessgewässer übers Jahr gesehen stetig. Eine Zunahme der Sonnenscheindauer und steigende Temperaturen im Spätwinter führen zu Höchsttemperaturen im Sommer. Das Ausmass der Schwankungen bei den saisonalen Temperaturen und die durchschnittliche Jahrestemperatur hängen nicht nur von den Witterungsbedingungen, sondern auch von der Lage der Fliessgewässer ab. Im Alpenraum werden die jahreszeitlich bedingten Schwankungen durch den Anteil von kaltem Schnee- und Gletscherschmelzwasser an den Sommerabflüssen der Flüsse abgeschwächt. In anderen Einzugsgebieten spielen Grundwasserbeiträge eine ausgleichende Rolle, weil die Temperaturen im Untergrund übers Jahr gesehen relativ konstant bleiben. In wieder anderen Regionen bestimmt ein See die Temperatur des unterhalb davon gelegenen Fliessgewässers. Obwohl die langfristige Entwicklung der Wassertemperatur eines Fliessgewässers vom Zustand der Atmosphäre abhängt – und diese dadurch zu einem aussagekräftigen Klimaindikator wird –, ist der Beitrag der menschlichen Tätigkeiten bedeutend. Die Zufuhr von warmem Wasser aus Kühlwassersystemen oder Kläranlagen stört den natürlichen Temperaturzyklus eines Fliessgewässers. Das Kühlwassersystem des Kernkraftwerks Mühleberg (BE) beispielsweise erwärmt das Wasser der Aare im Jahresdurchschnitt um 1,3 °C. Im Winter kann die Erwärmung bis zu 3,4 °C betragen (Jakob et al. 2010). Um irreversible Auswirkungen der Temperaturerhöhungen auf die Umwelt zu vermeiden, sieht die Gewässerschutzverordnung (GSchV) vor, dass die Aufwärmung des Gewässers gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion höchstens 1,5 °C, betragen darf.

Die Wassertemperaturmessungen in sämtlichen grösseren Fliessgewässern der Schweiz zeigen seit den 1960er-Jahren einen eindeutig steigenden Trend (Abbildung 40). Diese Entwicklung ist teilweise auf die technischen Anlagen zurückzuführen, aber auch die Auswirkungen des Klimas sind deutlich. Aus Abbildung 40 wird ersichtlich, dass die erhöhten Wassertemperaturen in Basel parallel zum Anstieg der mittleren Lufttemperatur verlaufen. Auch die markante Zunahme in den Jahren 1987 und 1988 war klimabedingt; sie spiegelte den veränderten Index der Nordatlantischen Oszillation wider. Die Lage des Einzugsgebietes differenziert die Veränderungen der Wassertemperaturen (Jakob et al. 2010). Bei den Flüssen im Mittelland beispielsweise ist die Entwicklung ausgeprägter als bei den Alpenflüssen, weil der Anteil des kalten Schmelzwassers am Abfluss im Zuge der Temperaturerhöhung steigt. Auch Fliessgewässer, die durch Grundwasser gespeist werden, verzeichnen eine abgeschwächte Temperaturzunahme. An den Seeausflüssen ist hingegen eine stärkere Erwärmung der Fliessgewässer festzustellen, die in der hohen thermischen Kapazität der Seen begründet ist.

Temperatur des Grundwassers

Nicht verdunstetes Regenwasser und ein Teil des Oberflächenwassers versickert durch Gravitation in den Untergrund. Die ausgefüllten Hohlräume bergen die Grundwasserreserven. Grundwasser strömt relativ langsam bevor es als Pumpwasser in einem Brunnen oder als Quelle oder Zufluss wieder an der Oberfläche austritt. Grundwasser ist eine überaus wichtige Trinkwasserquelle, (es stellt 80 % des Trinkwassers in der Schweiz) und es spielt im Wasserkreislauf und in der Versorgung bestimmter Ökosysteme eine zentrale Rolle. Folglich gilt es, eine hochstehende, fremdstofffreie Wasserqualität und ausreichend hohe Grundwasserstände zu erhalten.

Eine Veränderung der Niederschlagsmengen hat Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung. Der Hitzesommer 2003 und die geringen Niederschlagsmengen in den Jahren 2003–2005 beispielsweise führten zu extrem niedrigen Grundwasserständen. In den meisten Messstationen des nationalen Netzes zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers NAQUA wurden historische Tiefstände erreicht. Die Hochwasser im Jahr 1999 und die Starkniederschläge in den Jahren 2000–2002 wiederum resultierten in besonders hohen Grundwasserständen und -abflüssen. Obwohl mit häufigeren und längeren Trockenperioden und regelmässigeren heftigen Niederschläge zu rechnen ist, zeichnet sich bei den Grundwasserständen und -abflüssen heute noch keine Tendenz ab. Der Wechsel dieser Perioden spiegelt bisher nur die Witterungsverhältnisse wider. Diese mögen zuweilen von kurzer Dauer sein, können aber langfristige Auswirkungen haben, besonders wenn sich der Grundwasserleiter (Aquifer) nur langsam erneuert oder wenn die Regenfälle des Folgejahrs nicht ausreichen, um die Tiefstände auszugleichen.

Bei einer Erhöhung der Grundwassertemperaturen kann die Qualität der Trinkwasserressourcen beeinträchtigt werden. In der Tat ist die Temperatur eines der wichtigsten Elemente, die die Lebensprozesse im Grundwasser steuern. Sie beeinflusst alle Stoffwechselvorgänge und damit die Entwicklung, die Wachstumsgeschwindigkeit und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Die Grundwassertemperatur wird betrachtet, um einen Zusammenhang zwischen ihrer Entwicklung und der Klimaerwärmung aufzuzeigen. Die Wetterverhältnisse beeinflussen die Grundwassertemperatur auf die eine oder andere Weise, aber auch die Beschaffenheit des Aquifers, die Grundwassermächtigkeit (d. h. die Dicke der ungesättigten Schicht), die für die Grundwasserneubildung benötigte Zeit, die Art der Auffüllung (Versickern von Regenwasser, Fliessgewässern oder Schneeschmelze) und die Bodennutzung (Siedlungen, Strassen, land- und fortwirtschaftliche Flächen) spielen eine Rolle.

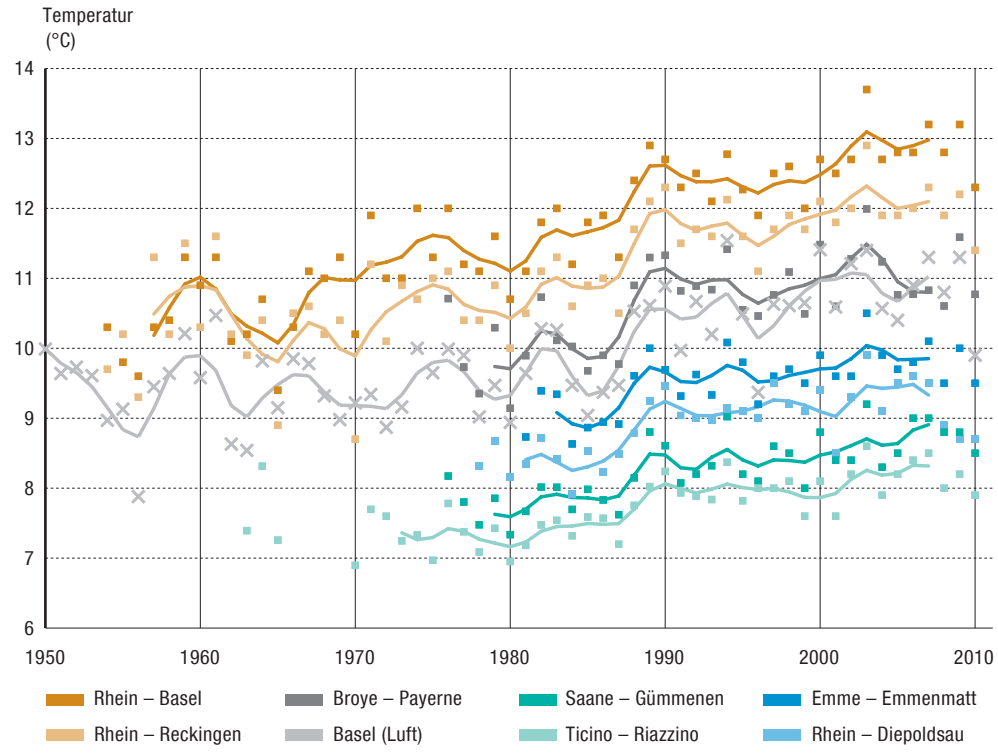
Im Schweizer Mittelland weisen die meisten Grundwasserleiter erhöhte Wassertemperaturen auf (Abbildung 41). In Zofingen (Aargau) beispielsweise stieg die Temperatur im Zeitraum 1989–2007 um 1,0 °C. Dieser Anstieg ist höher als jener der Luft (0,7 °C im wenige Kilometer entfernt gelegenen Wynau). An dieser Messstation sind saisonal bedingte Schwankungen gering, und die Höchst- und Tiefsttemperaturen des Grundwassers treten in Bezug auf die Sommer- und Winterperiode gesehen mit zeitlichen Verzögerungen auf. Dieses Phänomen ist in der schwachen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und in seiner grösseren Mächtigkeit (rund 10 m im Vergleich zu 3 m bei Stans) begründet. In anderen Aquiferen des Mittellandes werden schwächere oder gar umgekehrte Tendenzen beobachtet. Die Gründe für diese Entwicklung sind bislang noch nicht völlig geklärt; mit Sicherheit aber ist das Zusammenspiel von hydrogeologischen und witterungsbedingten Faktoren von Bedeutung.

Temperatur der Seen

Die thermische Entwicklung der Seen wird von verschiedenen, komplexen Prozessen bestimmt. Diese hängen von den Witterungsbedingungen, der Bathymetrie (Relief des Seebodens), dem Einfluss der Fliessgewässer, dem Grundwasserzufluss und von biochemischen Faktoren (Zusammensetzung des Wassers, Phytoplanktonmengen) ab. Der Wärmeaustausch

Abb. 40 > Temperatur der Fliessgewässer

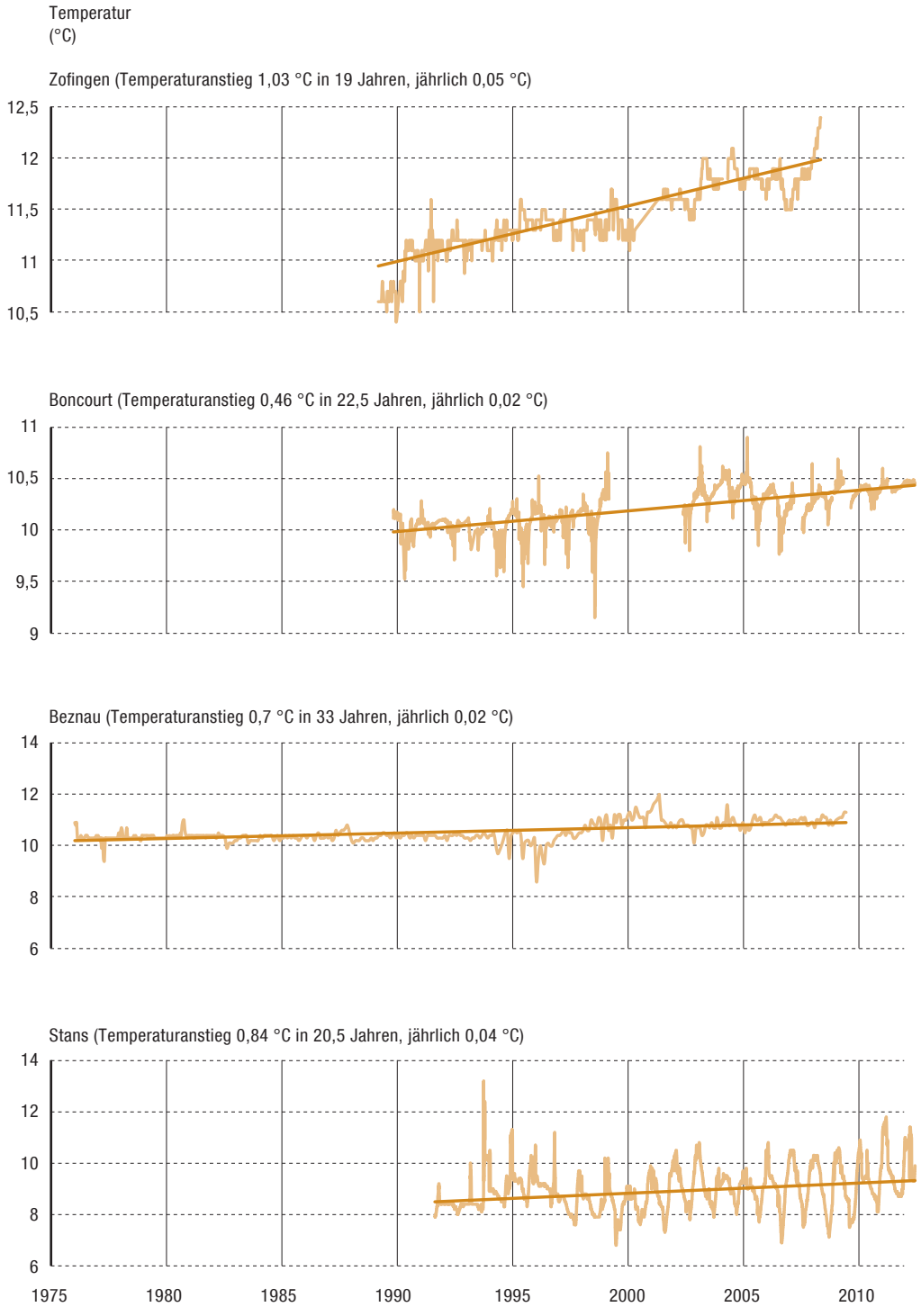
Jahresmittelwerte der Wassertemperatur an sieben Messstellen des BAFU 1954–2010. Die gleitenden Jahresmittel wurden über sieben Jahre berechnet. Zu Vergleichszwecken wird die Lufttemperatur in Basel (MeteoSchweiz) angegeben.



Quelle: BAFU (2012d)

Abb. 41 > Grundwassertemperatur

Tages- und Monatswerte der Grundwassertemperatur an vier Messstationen des nationalen Netzes zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers (NAQUA, BAFU 2009) 1976–2011.

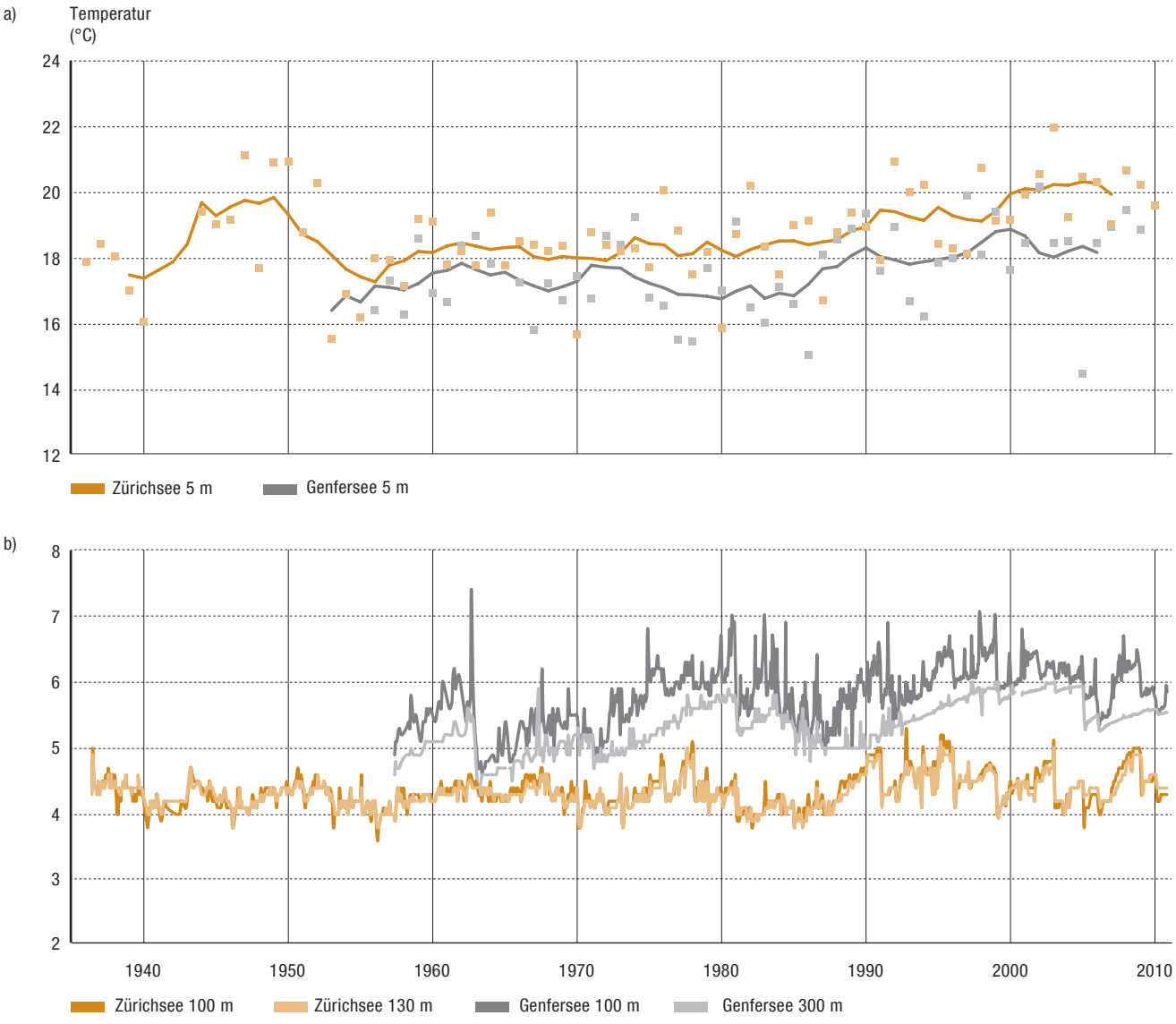


Quelle: BAFU (2012d)

zwischen dem See und der Atmosphäre sowie der Wind, der den Wellengang verursacht, bestimmen die Temperaturentwicklung in allen Wassertiefen und erzeugen Temperaturprofile, die sehr stark von der Jahreszeit abhängen. Im Sommer beispielsweise sind deutliche Schichten mit unterschiedlicher Temperatur feststellbar: eine obere Wasserschicht (Epilimnion), die sich unter dem Einfluss von Wind und Temperatur verändert, eine untere Wasserschicht (Hypolimnion), die sich im Verlauf des gesamten Jahres in der Regel nur wenig erwärmt, und eine Zwischenschicht (Metalimnion), die als thermischer Puffer wirkt und die Vermischung von Epilimnion und Hypolimnion bremst. Im Winter hingegen sind die Wassertemperaturen in allen Schichten mehr oder weniger gleich. Mit dem Wärmeverlust in der oberen Schicht im Herbst und im Winter

Abb. 42 > Temperaturen von zwei unterschiedlich tiefen Seen im Schweizer Mittelland

a) Entwicklung der Wassertemperaturen im Sommer (Mittelwert von Messungen im Juli/August) im Gen-fersee (1957–2010) und im Zürichsee (1945–2010) in 5 m Tiefe. Die Temperaturen in 5 m Tiefe charakterisieren den Zustand des Epilimnions und werden ein- bis viermal pro Monat erhoben. Die gleitenden Jahresmittel werden über sieben Jahre berechnet. b) Jahrestemperaturentwicklung in 100 m Tiefe und am Seegrund. Die Temperaturen in 100 m Tiefe und tiefer sind repräsentativ für den Zustand des Hypolimnions. Die Daten werden im Sommer regelmässiger erhoben als im Winter.



Quellen: CIPEL 2011, Stadt Zürich (2011)

verringert sich die Wasserdichte in der Wassersäule. Es entstehen Konvektionsbewegungen, die – vom Einfluss des Windes auf die instabil gewordene Struktur unterstützt – eine mehr oder weniger vollständige Durchmischung des Sees verursachen können. Die Häufigkeit einer vollständigen Durchmischung ist bei den Seen des Mittellandes äusserst verschieden. Eine Teildurchmischung ist für sehr tiefe Seen, die milden Wintern und kurzen heftigen Windereignissen ausgesetzt sind, recht typisch. Der Genfersee (309 m) wird manchmal weniger als einmal in zehn Jahren durchmischt[21].

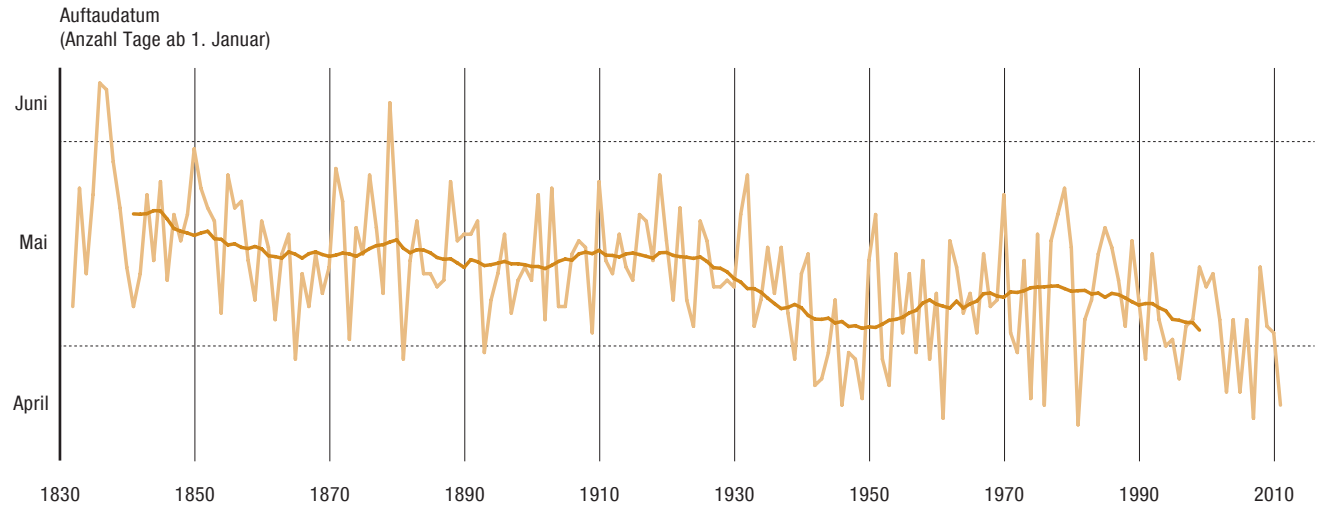
Messungen in den Seen des Schweizer Mittellandes bestätigen eine Temperaturerhöhung in allen Wassertiefen (Straile et al. 2003a, Ambrosetti und Barbanti 1999). Ein deutlicher Beleg hierfür ist die Temperaturentwicklung des Oberflächenwassers des Genfersees und des Zürichsees im Sommer (Abbildung 42a). Die vorübergehende Erwärmung des Zürichsees in den 1940er-Jahren ist auf das damals milde Klima zurückzuführen (vgl. Kapitel 3.3.1). Seit 1990 lagen die täglichen Wassertemperaturen des Genfersees und des Zürichsees an der Oberfläche über den tiefsten Stellen des Sees mehrfach über 22,5 bzw. über 24 °C. Die höheren Mindesttemperaturen im Monat Juni (nicht gezeigt) sind das Ergebnis der Auswirkungen, die mildere Winter und frühzeitiger einsetzende Frühjahre auf die Schichtung der Wassermassen haben. Auf dem Seegrund kann das Klimaänderungssignal häufig nicht eindeutig nachgewiesen werden, weil die Erwärmung im Sommer teilweise nur bis zum Metalimnion fortschreitet und weil die Durchmischung der Wasserschichten im Winter das Temperaturprofil im See bis zu einem gewissen Grad wieder initialisiert. In sehr tiefen Seen indessen, deren Wasserschichten früher regelmässig durchmischt werden, lassen sich neuerdings Phasen der Erwärmung (ohne vollständige Durchmischung) mit einem nachfolgenden abrupten Temperatursturz beobachten. Der Zürichsee zeigt dieses Phänomen verstärkt seit den späten 1980er-Jahren (Abbildung 42b), was auf eine seltenere völlige Durchmischung hinweist. Mit einer Zunahme von 0,04 °C pro Jahrzehnt sind die Temperaturen am Seegrund von 1945 bis 2008 nur langsam gestiegen (Eawag 2008). Die Wasserschichten des Genfersees durchmischen sich nur selten. Deshalb kann die über mehrere Jahre in der Tiefe angesammelte Wärme dort nicht völlig freigesetzt werden (Abbildung 42b). Die Wassertemperatur steigt dort um etwas weniger als 0,15 °C pro Jahrzehnt an.

Eisbedeckung der Seen

Ob die Seen im Winter zufrieren und wie lange die Eisbedeckung anhält, hängt primär von der Lufttemperatur ab. Je kälter und länger ein Winter ist, umso eher frieren die Seen zu und umso länger dauert die Eisbedeckung. Auch die Tiefe des Sees hat einen Einfluss auf das Zufrieren. Ein tiefer See ist ein bedeutender Wärmespeicher, der zunächst enorme Energiemengen abgeben muss, bevor seine Oberfläche vollständig zufriert. Der Genfersee, der Brienzersee und der Walensee sind historischen Aufzeichnungen zufolge noch nie völlig zugefroren, der Zürichsee nur in den Jahren 1907, 1929 und 1963.

Abb. 43 > Auftaudaten des St. Moritzersees

Die von 1932 bis 2011 registrierten Auftaudaten bezeichnen den ersten Tag im Jahr, an dem der See völlig eisfrei ist. Die gleitenden Mittelwerte werden über 20 Jahre dargestellt.



Quelle: Engadiner Post (2012)

Die historischen Aufzeichnungen über die Bildung und das Schmelzen der Eisdecke auf dem St. Moritzersee gehen bis ins Jahr 1832 zurück. Damit bilden sie die längste Datenreihe dieser Art in Europa. Da die Schwankungen bei den Auftaudaten in erster Linie durch die Veränderungen der Lufttemperatur bedingt sind (Livingstone 1997), bietet diese Datenreihe sehr zuverlässige und direkte Aufschlüsse über die Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf die Eisbedeckung der Seen in der Schweiz. In Übereinstimmung mit den Entwicklungstendenzen, die für andere Seen und Flüsse der nördlichen Hemisphäre beobachtet wurden (Magnuson et al. 2000), schmilzt auch das Eis auf dem St. Moritzersee im Frühjahr immer zeitiger (Abbildung 43). Im Jahr 2011 beispielsweise war der See 20 Tage früher als im Mittel der Periode 1832–2011 eisfrei. Die Auswirkungen der Warmperiode am Ende der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind in der Datenserie sichtbar.

Für die mittelgrossen Seen des Schweizer Mittellandes sind inzwischen nicht mehr die Daten des Gefrierens und des Auftauens relevant, sondern vielmehr die Jahre, in denen die Seen gefrieren. Laut einer Untersuchung von Franssen und Scherrer (2007) über elf mittelgrosse Seen des Schweizer Mittellandes frieren die Seen seit 40 Jahren weniger häufig zu. Seit 20 Jahren ist die Abnahme der Häufigkeit besonders deutlich. Allerdings sind, selbst über einen kurzen Zeitraum gesehen, bedeutende Schwankungen feststellbar. Während im Jahr 2007 kein einziger See zufror, führte die ausserordentliche Kältewelle im Februar 2012 dazu, dass sich auf der gesamten oder zumindest auf einem Teil der Oberfläche dieser Seen eine dicke Eisschicht bildete. Besonders die sehr tiefen Seen, die seltener zufrieren, sind von dem Rückgang der Eisbedeckung betroffen. Seen wie beispielsweise der Greifensee, der Pfäffikersee und der Ägerisee sind von dem Anstieg der Wintertemperaturen bislang zumindest kaum betroffen, weil die Kältezufuhr zur Bildung einer Eisdecke ausreicht.

3.4.2 Kryosphäre

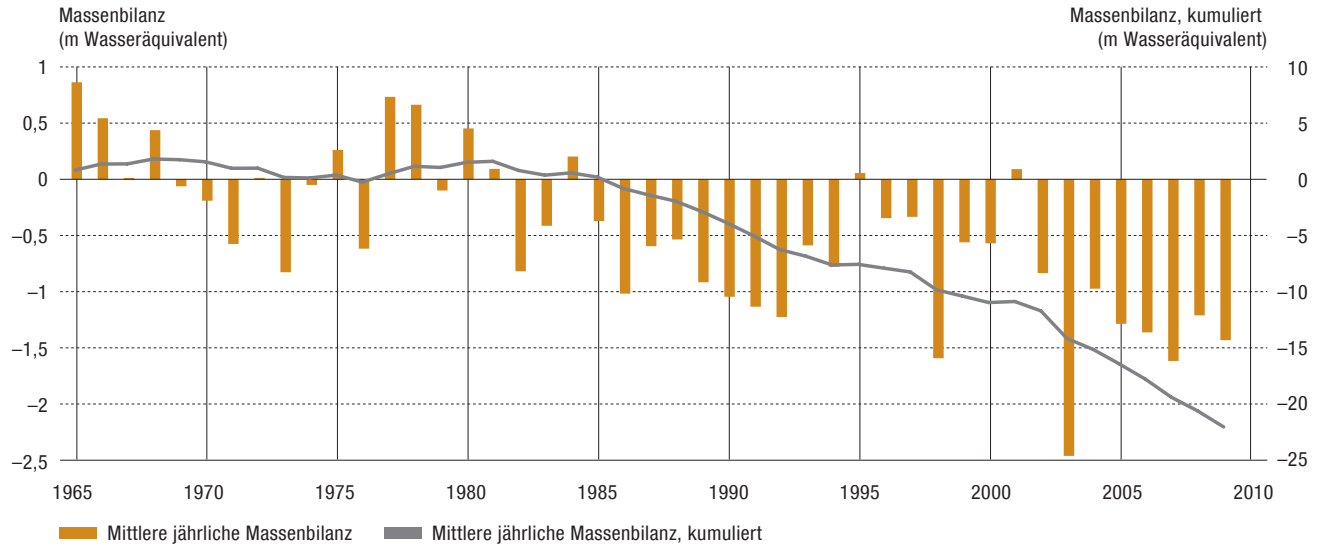
Gletschermassenbilanz und Gletscherlängenänderung

Die Erhöhung der weltweiten Durchschnittstemperatur führt nahezu überall auf der Erde zu einem Rückgang der Gletscher. Auch die Schweiz ist von dieser Entwicklung nicht ausgenommen. Das Eis unter der Oberfläche der temperierten Gletscher befindet sich in allen alpinen Regionen nahe am Schmelzpunkt unter Druck (0 °C). Selbst geringfügige Temperaturschwankungen genügen, um es zum Schmelzen zu bringen. Schon eine über zehn Jahre anhaltende Temperaturerhöhung von einem Zehntel Grad kann einen Rückgang der Gletscherzungen um mehrere 100 Meter bewirken. Aus diesem Grund gehören Gebirgsgletscher in der globalen Umweltbeobachtung zu den aussagekräftigsten Klimaindikatoren (Haeberli et al. 2000).

Die Volumen- bzw. Massenänderung eines Gletschers ist ein zuverlässiges Anzeichen für Veränderungen der Klimabe-

Abb. 44 > Mittlere Massenbilanz von acht Alpengletschern

Jährliche durchschnittliche und kumulative Massenbilanz von acht Alpengletschern: Saint Sorlin (F), Sarennes (F), Silvretta (CH), Gries (CH), Sonnblickkees (A), Vernagtferner (A), Kesselwandferner (A), und Hintereisferner (A), 1965–2009.



Quelle: WGMS (2011)

dingungen. Die gemittelte Massenbilanz für acht Alpengletscher zeigt, dass sie bis etwa 1980 recht ausgeglichen war: Jahre mit Gletschervolumenzunahmen glichen Jahre mit Gletschervolumenverlusten aus. Seitdem ist jedoch ein Trend zum kontinuierlichen Massenverlust erkennbar (Abbildung 44). Auf die Gesamtfläche der Gletscher bezogen liegt der Verlust zwischen 0,5 bis 1,5 m Wasseräquivalent (WE)[22] pro Jahr, im Jahr 2003 mit dem Hitzesommer betrug er sogar 2,5 m WE. Werden die Verluste Jahr für Jahr addiert, ergibt sich zwischen 1980 und 2009 ein kumulativer Verlust von über 22 m WE. Es ist schwierig, die im gesamten Alpenraum verbleibende Gletschermasse zu bestimmen. Expertinnen und Experten schätzen, dass die Alpengletscher zwischen 1850 und 1975 aufs Jahr berechnet 0,5 % ihres Volumens verloren haben. Der durch die seit 1985 beschleunigte Gletscherschmelze verursachte Volumenverlust zwischen 1975 und 2000 wird auf 1 % pro Jahr beziffert (Haeberli et al. 2007). Bezogen auf die 2011 verbleibenden Gletschervolumina, wird von einem derzeitigen Volumenverlust der Alpengletscher von 2 km^3 bzw. 2 bis 3 % pro Jahr ausgegangen (Haeberli et al. im Druck).

Die Längenänderung eines Gletschers (Vorstoss oder Rückzug der Gletscherzunge) hängt namentlich von seiner Grösse ab (Abbildung 45): Kleine Gletscher (z. B. Pizol und Sardona) reagieren rasch auf die jährliche Witterung, während die Gletscherzungen grösserer Gebirgsgletscher (z. B. Trient und Tschierva) deutlicher und mit gewissen Verzögerungen (im Jahrzehntebereich) reagieren. Grosse Talgletscher reagieren noch langsamer bzw. 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 1879 beobachtet.

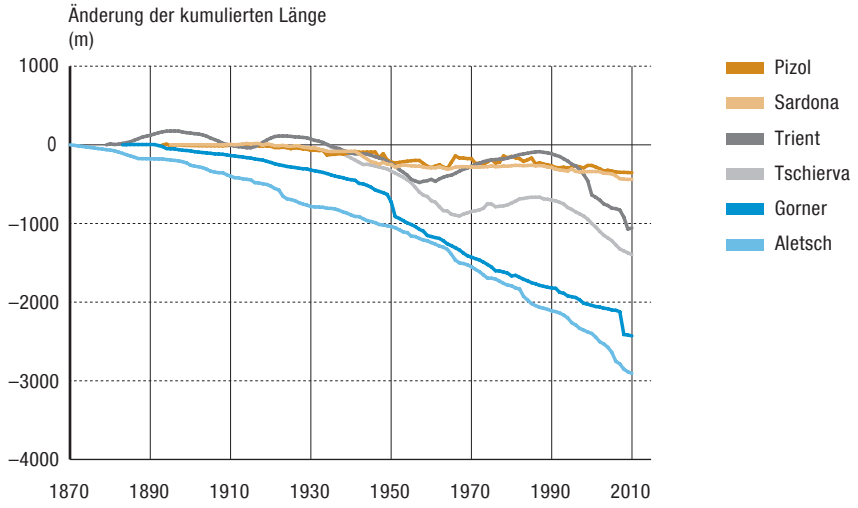
Der beobachtete Gletscherschwund in den Alpen geht deutlich mit dem Trend zu höheren Durchschnittstemperaturen einher (Zemp et al. 2007). Aussergewöhnliche Trendabweichungen (Zunahmen) lassen sich mit dem Witterungsverlauf erklären (geringere Sonnenscheindauer, höhere Winterniederschläge). In den kommenden Jahren werden sich die Alpengletscher unabhängig von der Temperaturentwicklung weiter zurückbilden: Ihre heutige Ausdehnung entspricht noch nicht dem zurzeit in der Region 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 totalen Gletscherschwund gerechnet werden (Zemp et al. 2006).

Temperaturvariationen im Permafrost

Permafrost kommt dort vor, wo die Temperatur im Untergrund das ganze Jahr hindurch unter oder bei 0 °C liegt. Grosse Permafrostgebiete befinden sich in den arktischen und antarktischen Regionen, aber auch in Hochgebirgsregionen wie in den Alpen sind viele Schutthalden, Blockgletscher[23], Fels-

Abb. 45 > Längenänderung von sechs Alpengletschern

Kumulative jährliche Längenänderung der Gletscher Pizol (0,21 km², 0,6 km Länge im Jahr 1973), Sardona (0,36 km², 0,7 km Länge im Jahr 1973), Trient (6,4 km², 4,9 km Länge im Jahr 1973), Tschierva (6,2 km², 4,75 km Länge im Jahr 1973), Gorner (59,73 km², 13,5 km Länge im Jahr 1973), und Aletsch (86,63 km², 24 km Länge im Jahr 1973) 1879–2010.



Quellen: VAW/ETHZ und EKK/SCNAT (2010)

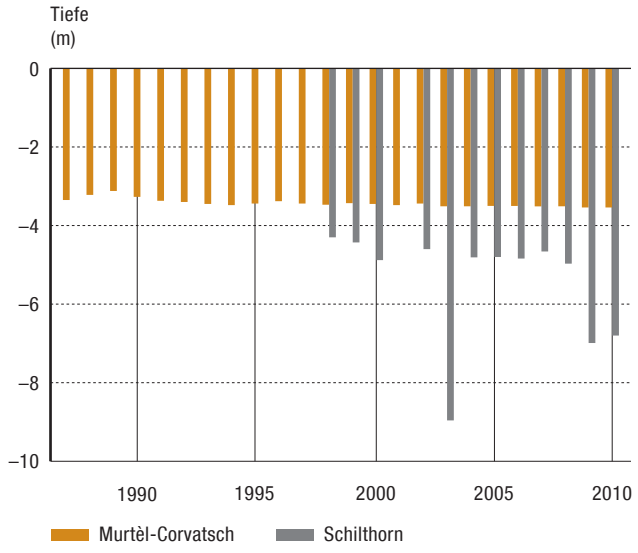
unterlagen und Böden dauerhaft gefroren. In der Schweiz sind etwa 5 bis 6 % der Landesfläche von Permafrost betroffen. Diese Fläche ist doppelt so gross wie die von Gletschern bedeckte Fläche. Die Permafrostdicke in den Alpen reicht von wenigen Metern bis zu mehreren hundert Metern, beispielsweise in den höchsten Lagen des Monte-Rosa-Massivs.

Permafrost reagiert in verschiedener Weise auf Veränderungen in der Energiebilanz an der Oberfläche. Liegt die Temperatur des Untergrundes knapp unter dem Schmelzpunkt, ist keine Temperaturveränderung feststellbar, weil die Energie zum Schmelzen des Eises unter der Oberfläche verbraucht wird. Ist der Untergrund hingegen trocken und sehr kalt, findet kein Phasenwechsel statt, und die Temperaturen im Untergrund verändern sich. Die winterliche Schneedecke kann die Energiebilanz beeinflussen, da sie eine isolierende Wirkung hat. Ausgiebige Schneefälle zu Beginn des Winters verhindern, dass sich der Boden infolge der verminderten Infrarotstrahlung stark abkühlt, und begünstigen so höhere Permafrosttemperaturen im folgenden Sommer. Wenn im Sommer der Boden schneefrei ist, taut die obere Schicht je nach Lufttemperatur und Strahlungsintensität an der Oberfläche auf. Die Mächtigkeit dieser sogenannten Auftauschicht ist ein direktes Signal der jahreszeitlich bedingten Klimaverhältnisse (PERMOS 2010). In Abbildung 46 ist die maximale Tiefe der Auftauschicht des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch im Oberengadin und des Schilthornblockgletschers im Berner Oberland dargestellt. Die Zeitreihe für den Murtèl-Corvatsch-Gletscher zeigt einen leichten Trend zu einer grösseren Mächtigkeit der Auftauschicht mit Höchstwerten in den Jahren 2009 und 2010. An anderen Standorten wie zum Beispiel in der Schutthalde von Les Lapires (VS, nicht abgebildet) oder am Schilthorn schwanken die Auftautiefen stärker, weil dort der Eisgehalt im Boden viel kleiner ist und deshalb weniger Energie für den Auftauprozess verbraucht wird. Temperaturanomalien wie diejenigen im Hitzesommer 2003 schlagen sich in den Messungen deutlich nieder (Abbildung 46).

Abbildung 47 zeigt die Temperaturentwicklung in rund 10 bis 16 m Tiefe an sieben Bohrlöchern des Schweizer Permafrost-Beobachtungsnetzes PERMOS. In diesen Tiefen spielen die täglichen Auswirkungen der Witterungsverhältnisse keine Rolle. Die Temperaturschwankungen, die Entwicklungen an der Oberfläche mit einer halbjährigen Verzögerung nachzeichnen, lassen nur noch den Einfluss der winterlichen und sommerlichen Bedingungen erkennen. Im Gegensatz zu den Lufttemperaturen weisen die Beobachtungsreihen des Permafrosts keinen einheitlichen Trend an den beobachteten

Abb. 46 > Maximale Tiefe der Auftauschicht

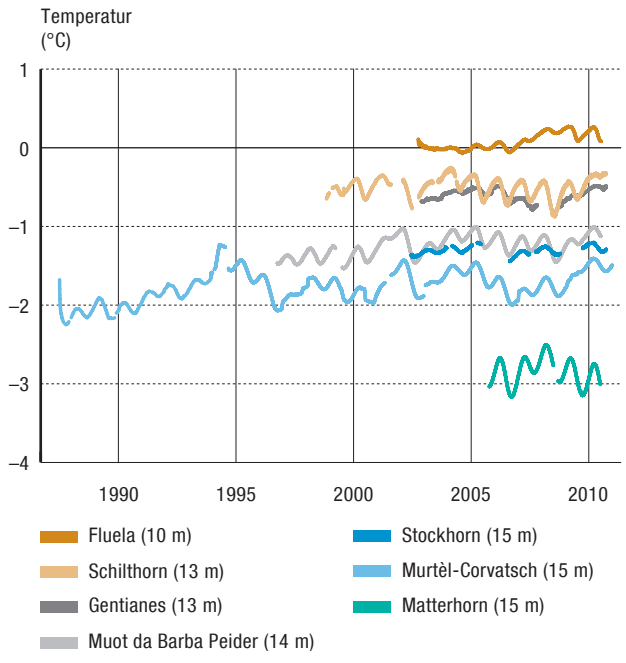
Tiefe der Auftauschicht des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch (1987–2010) und des Schilthornblockgletschers (1998–2010).



Quelle: PERMOS (2012)

Abb. 47 > Permafrosttemperaturen

Permafrosttemperaturen in 10 bis 16 m Tiefe an sieben Bohrlöchern der Alpen 1991–2010.



Quelle: PERMOS (2012)

Standorten auf. Sie spiegeln vielmehr extreme Witterungsverhältnisse wie beispielsweise die Hitzesommer 2003 und 2009 wider, und auch besonders warme und besonders kalte Winter sind klar erkennbar. Hierfür dürfte eine Reihe von Faktoren verantwortlich sein:

> die Schneedecke, deren Mächtigkeit von Ort zu Ort verschieden ist und die die Energiebilanz an der Oberfläche beeinflusst;
> die Beschaffenheit des Standorts (Schutthalden, Felsunterlagen);
> die Tatsache, dass die meisten Permafrost-Untersuchungen erst nach 2000 aufgenommen wurden, als die Lufttemperaturen bereits über den langfristigen Mittelwerten lagen;
> die Temperatur und der Eisgehalt des Untergrunds, die eine Erwärmung in der Tiefe verhindern können; in Gebieten mit warmem Permafrost[24] oder mit Oberflächentemperaturen knapp unterhalb des Schmelzpunkts wird ein grosser Teil der Wärme, die in den Boden eindringt, beim Auftauen des Bodens verbraucht (latente Wärme).

Der letzte Punkt illustriert, dass die Temperatur des Untergrunds alleine kein umfassendes Bild der Auswirkungen des Klimas auf den Permafrost vermitteln kann. Das Fehlen jeglicher Temperaturveränderungen im Untergrund heisst nicht, dass sich der Permafrost nicht verändert.

Die zwischenzeitlichen Temperaturerhöhungen im Permafrost im Blockgletscher Murtèl-Corvatsch und in den meisten anderen Blockgletschern – beispielsweise diejenigen in der Mitte der 1990er-Jahre und nach den Sommern 2001 und 2009 (Abbildung 47) – sind in erster Linie auf frühe Schneebedeckung und auf starke Schneefälle in vorgängigen Herbst- und Wintermonaten zurückzuführen. Die frühe Schneedecke verhinderte, dass die während der Sommermonate im Untergrund gespeicherte Wärme entwich und isolierte den Boden gegen die tiefen Wintertemperaturen (Permos 2010, Vonder Muehll et al. 2004).

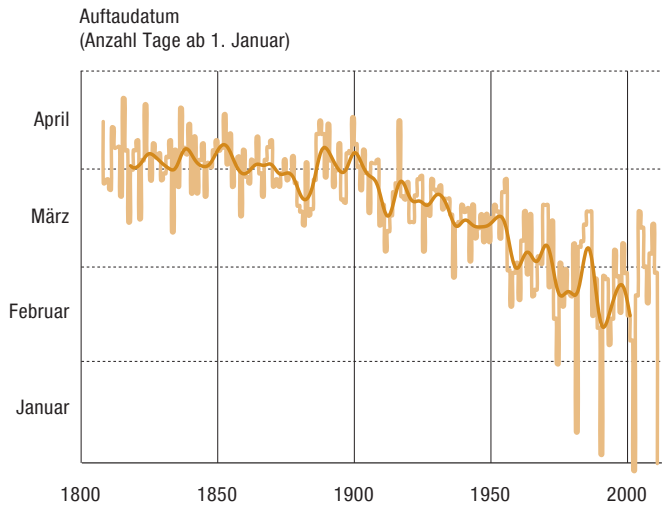
3.4.3 Vegetation und Wald

Blütezeit der Kirschbäume in Liestal und Blattentfaltung der Rosskastanien in Genf

Phänologische Eintrittstermine von Pflanzen wie die Blütezeit oder die Blattentfaltung im Frühjahr werden stark von der Lufttemperatur beeinflusst und können demzufolge von Jahr zu Jahr stark schwanken. Klimatische Veränderungen vermögen die Entwicklung und die Wachstumsphasen zahlreicher Pflanzenarten zu beeinflussen. Aus diesem Grund sind phäno-

Abb. 48 > Beginn der Blattentfaltung der offiziellen Rosskastanie in Genf

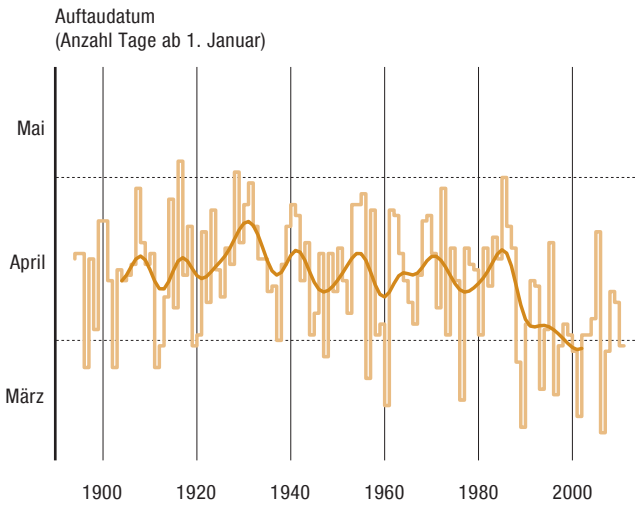
Eintrittstermin der Blattentfaltung während der Periode 1808–2012. Die Kurve entspricht einem 20-jährigen gleitenden Mittel.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Abb. 49 > Beginn der Blütezeit der Kirschbäume in Liestal (BL)

Eintrittstermin der Blüte der Kirschbäume von Liestal zwischen 1894 und 2012. Die Kurve entspricht einem 20-jährigen gleitenden Mittel.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

logische Daten gute Indikatoren für die lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation. Die zwei längsten phänologischen Datenreihen der Schweiz registrieren die Blattentfaltung der Rosskastanien in Genf (Abbildung 48) und den Beginn der Blütezeit der Kirschbäume bei Liestal (Abbildung 49). Beide zeigen eine Tendenz hin zu früheren Frühlingsphasen (Defila und Clot 2001). Die Auswertung der Daten, die seit 1951 vom phänologischen Beobachtungsnetz der Schweiz und auch von anderen europäischen Beobachtungsnetzen erhoben werden, bestätigt diese Entwicklung.

Obwohl die jährliche Entwicklung der Pflanzen von verschiedenen Umweltfaktoren wie namentlich den Wetterverhältnissen abhängt, können im langjährigen Trend Auswirkungen des Klimas auf die Entwicklung der Vegetation in Genf und in Liestal erkannt werden. Die Datenreihe zum Eintritt der Kirschbaumblüte zeigt, dass er von Jahr zu Jahr beträchtlich variiert, aber dass seit rund 30 Jahren eine Vorverschiebung stattfindet. Die Blütezeit der Kirschbäume beginnt nun 15 bis 20 Tage früher als in der Mitte des 20. Jahrhunderts. Die Blattentfaltung der Rosskastanie, die im 19. Jahrhundert nahezu immer zum gleichen Zeitpunkt einsetzte, hat sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts zeitlich eindeutig nach vorne verschoben. Als spätestes Datum wurde der 23. April 1816 registriert, als frühestes der 29. Dezember 2002. Das verfrühte Auftreten der Blattentfaltung wird aber noch von weiteren Faktoren bestimmt, beispielsweise vom lokalen Klima der Stadt Genf und seiner Veränderung im Zuge der fortschreitenden Urbanisierung.

Beginn der Gräserpollensaison

Gräserpollen sind in der Schweiz die wichtigsten Auslöser von Allergien. Das Datum des Beginns der Gräserblüte ist deshalb für Allergikerinnen und Allergiker entscheidend. Der Beginn der Gräserpollensaison steht wie die Kirschbaumblüte in einem engen Zusammenhang mit den Frühlingstemperaturen, vor allem mit den Temperaturen von März bis Mai. Der Beginn ist definiert als das erstmalige Übertreffen einer mittleren täglichen Pollenkonzentration von 20 Pollen/m^3, dem Schwellenwert für mässige Belastung. Der Eintrittstermin der Gräserblüte zeigt eine Tendenz zur Verfrühung von rund einer Woche seit 1982. Der lineare Trend ist jedoch statistisch nicht signifikant (Abbildung 50). Die Dauer der Gräserpollensaison, die neben der Witterung auch von der landwirtschaftlichen Nutzung abhängt, hat seit 1982 von 109 auf 86 Tage abgenommen.

Die Pollenmessungen von MeteoSchweiz dienen nicht nur den Allergikern für die kurzfristige Warnung, sondern sie können auch wichtige Aussagen zur Reaktion der Vegetation auf die Veränderungen der Frühlingstemperaturen machen. Der Beginn der Pollensaison von weiteren allergenen Arten wie Birke, Esche, Hasel und Erle zeigt ein sehr ähnliches Muster wie der Frühlingsindex (Abbildung 51).

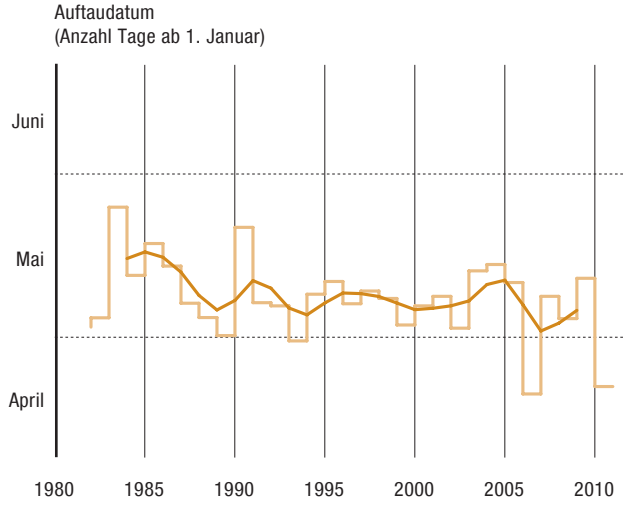
Der Frühlingsindex als zusammenfassendes Mass

MeteoSchweiz befasst sich im Rahmen des phänologischen Beobachtungsnetzes seit 1951 mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Pflanzen. Das phänologische Beobachtungsnetz umfasst rund 150 Stationen, verteilt über alle Regionen und Höhenlagen der Schweiz. Generell zeigt sich bei verschiedenen Pflanzenarten in der gesamten Schweiz eine Tendenz zur Verfrühung der phänologischen Frühlingsphasen. Um die Vegetationsentwicklung im Frühling als Gesamtheit zu charakterisieren, wurden die ersten zehn beobachteten Entwicklungsstadien im Jahr zu einem einzelnen Wert zusammengefasst, dem Frühlingsindex. Mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse, einer Methode zur Strukturierung umfangreicher Datensätze, wird dabei die Abweichung vom mittleren Eintrittstermin (in der Periode 1950 bis heute) über alle Beobachtungsstationen bestimmt.

Das Bild zeigt, dass sich die Vegetation zwischen 1989 und 2003 meist sehr früh entwickelt hat, dass die Vegetationsentwicklung im Jahr 2010 zum normalen Zeitpunkt stattgefunden hat und dass 2011 ein ausserordentlich frühes Jahr war. Der Verlauf des Frühlingsindex über die Jahre zeigt den

Abb. 50 > Beginn der Gräserpollensaison

Mittlerer Beginn der Gräserpollensaison 1982–2011 für die Messstationen Basel, Buchs (SG), Genf, Neuenburg und Zürich. Der Trend ist mit einem 5-jährigen gleitenden Mittel aufgezeigt.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Einfluss der Klimaerwärmung auf die Vegetation in der ganzen Schweiz.

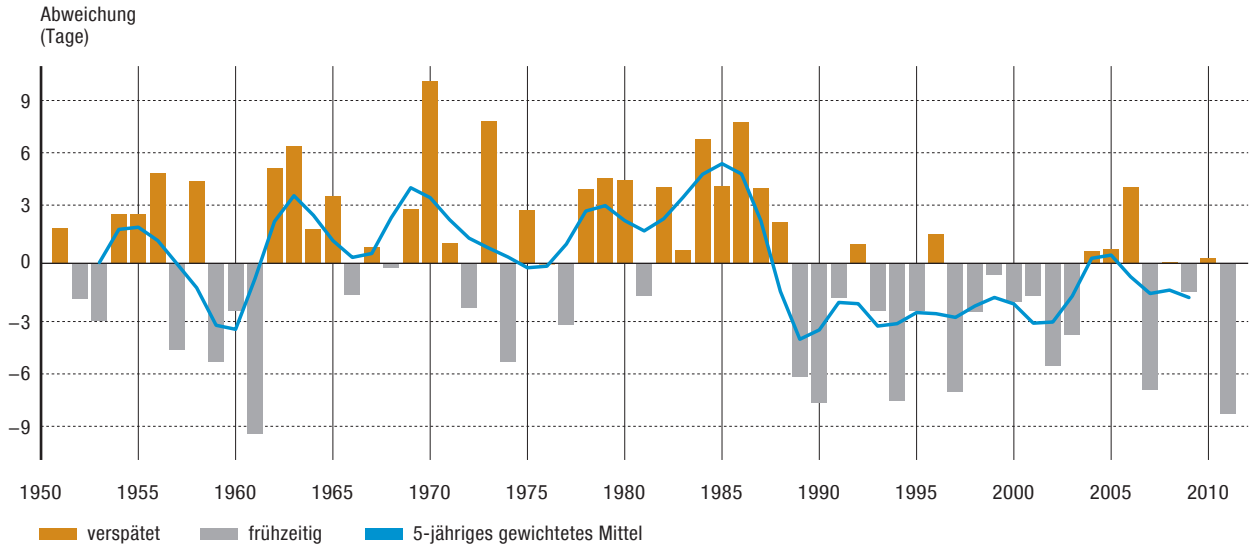
Pflanzenarten vom Mittelland bis in Höhenlagen

Mit mehr als 13 000 verschiedenen Arten von Gefässpflanzen, Moosen, Algen, Pilzen und Flechten weist die Schweiz eine hohe pflanzliche Artenvielfalt auf (Cordillot und Klaus 2011). Diese Vielfalt verdankt sie den vielfältigen Lebensräumen, die von geografisch unterschiedlichen lokalen klimatischen Bedingungen geprägt sind, aber auch vom Untergrund und der Beschaffenheit der Böden (BAFU 2010). Auch menschliche Tätigkeiten, beispielsweise die extensiv betriebene Landwirtschaft in den Bergregionen, haben zuweilen zur biologischen Vielfalt der Lebensräume beigetragen. Im Gegenzug jedoch sind unter dem Druck gewisser Bewirtschaftungs- und Bodennutzungsformen einige ökologische Nischen und mit ihnen verschiedene spezifische Arten verschwunden. So haben beispielsweise die Intensivierung der Landwirtschaft und der Produktionsanstieg im Mittelland zu einer Vereinheitlichung der Pflanzengemeinschaften geführt. Die Auswirkungen des Klimas auf die Pflanzenarten beeinflussen die biologische Vielfalt ebenfalls. Perioden mit erhöhtem Wassermangel dürften das Auftreten und die Verbreitung trockenheitsresistenter Arten begünstigen, die sich auf Kosten anderer Arten etablieren. Einige Arten dürften höher gelegene Standorte kolonisieren, um dem temperaturbedingten Stress auszuweichen. Selbst wenn die Gesamtanzahl der Arten mehr oder weniger gleich bleibt, stellen die Vereinheitlichung der Landschaft des Mittellandes (siehe oben) und der Verlust an lokaltypischen Pflanzengesellschaften eine Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt dar.

Das Biodiversitäts-Monitoring (BDM) erfasst die Anzahl einheimischer und nicht einheimischer Gefässpflanzenarten in einem landesweiten Messnetz an rund 2000 Standorten. Anhand dieser Daten, die seit 2001 alle fünf Jahre erhoben werden, kann die Entwicklung der Pflanzenvielfalt in allen Höhenlagen verfolgt werden. Die BDM-Erhebungen begannen, als die Klimaerwärmung bereits eingesetzt hatte. Veränderungen in der Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften – wenn sie denn in der Tat auf das Klima zurückzuführen sind – manifestieren sich aber schon seit Langem (BAFU 2012d). Ein Vergleich der beiden Erhebungen zeigt, dass sowohl die Anzahl der einheimischen als auch der nicht einheimischen Pflanzen in den gemässigten Zonen zunimmt, der Anstieg bei den vom Menschen eingeschleppten Arten aber höher ist (Abbildung 52). Höhere Temperaturen begünstigen insbesondere die Verbreitung von Neophyten, ihre steigende Anzahl ist jedoch auch in nicht klimabedingten Faktoren begründet, beispielsweise in ihrer Bevorzugung von Siedlungsgebieten. Die starke Verbreitung von Neophyten in

Abb. 51 > Der Frühlingsindex

Der Frühlingsindex ist ein integrales Mass für die Abweichung von phänologischen Frühlingsphasen vom mittleren Eintrittstermin in der Periode 1950–2011.



Quelle: MeteoSchweiz (2012a)

Berggebieten (Grünland) ist ein relativ neues Phänomen. Die Tatsache, dass sie sich jenseits ihrer angestammten Klimazone ausbreiten, dürfte als Anzeichen dafür gelten, dass diese ehemals kalten Zonen sich heute erwärmen.

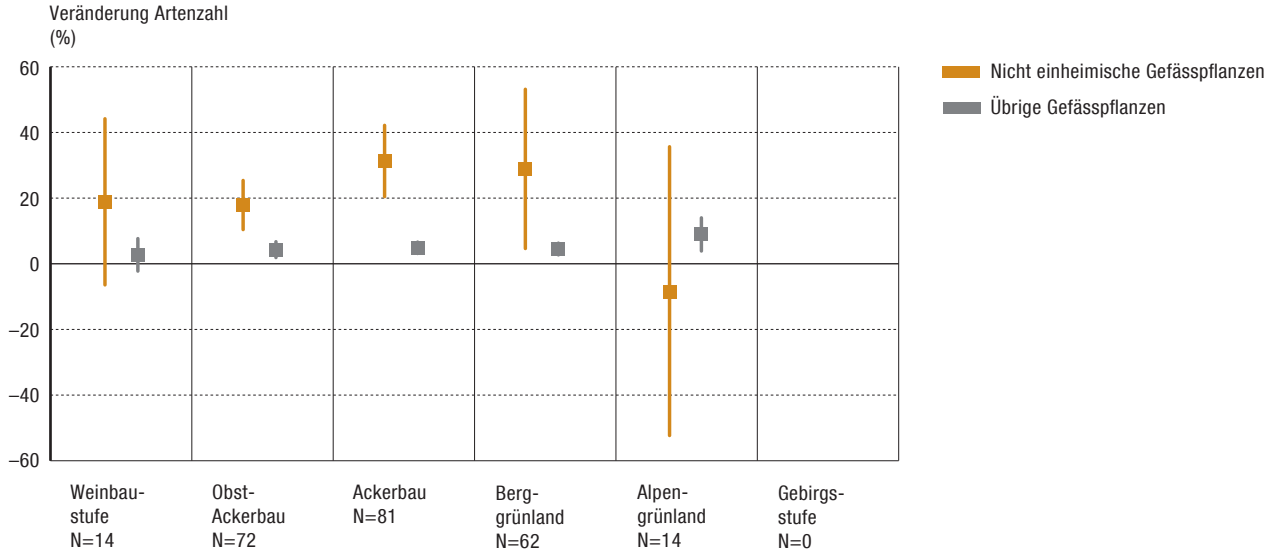
Pflanzenarten im Berggebiet

Grosse Amplituden bei den Tages- und Jahreszeittemperaturen, eine lang anhaltende Schneebedeckung, kurze Vegetationsperioden, zuweilen stürmische Winde, Lawinen und andere Naturereignisse prägen den extremen Lebensraum der alpinen Pflanzen und erfordern ihre Anpassung. Für die meisten dieser Pflanzenarten gehen weniger extreme Lebensraumbedingungen aber nicht zwingend mit einer längeren Wachstumsphase einher. Alpine Pflanzen sind häufig empfindlicher für jahreszeitlich bedingte Veränderungen in den Tageslängen (photoperiodische Signale) als für die Lufttemperatur. Bei einer starken zeitlichen Verkürzung der Schneebedeckung können Stoffwechselverluste, die in dem langen Kontakt mit höheren Temperaturen begründet sind, sogar nachteilige Auswirkungen haben (Körner 2005). Alpine Pflanzen, die einem wärmeren Klima ausgesetzt sind, haben drei Möglichkeiten, auf die Veränderungen zu reagieren: die Bedingungen aushalten (vorrangig durch Anpassungsstrategien), in günstigere Lebensräume migrieren oder verschwinden (Walther et al. 2005a).

Die Entwicklung der Zusammensetzung der Alpenflora wurde von Walther et al. (2005a) über einen Zeitraum von über 100 Jahren untersucht. Die Ergebnisse stützen sich auf Daten von zehn Gipfeln der Bernina-Region (Graubünden, Höhe zwischen 2959 und 3262 m), die im frühen 20. Jahrhundert (Rübel 1912), in den 1980er-Jahren (Hofer 1992) und zu Beginn des 21. Jahrhunderts (Walther et al. 2005b) erhoben wurden. Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg wird eine Zunahme der Anzahl der Pflanzenarten auf sämtlichen Gipfeln deutlich (Abbildung 53). Zwischen der ersten und der zweiten Erhebung stieg die Artenanzahl um 1,3 Arten pro Jahrzehnt, gegen Ende des 20. Jahrhunderts hingegen um 3,7 Arten pro Dekade. Unter dem Druck der Klimaerwärmung, die im Alpenraum besonders ausgeprägt ist, dehnen Gebirgspflanzen niedrigerer Höhenlagen ihr Verbreitungsgebiet in höhere Lagen aus und bewirken dort eine Zunahme der Artenzahl. Auf den Berggipfeln ist heute eine Vereinheitlichung der Flora zu beobachten (Jurasinski und Kreyling 2007). Obwohl die auf Höhenlagen spezialisierten Arten sich nur schwer gegen konkurrierende Arten durchsetzen können, lässt die Ankunft neuer Arten (bislang) noch keine Auswirkungen auf ihre Anzahl erkennen. Arten am Rand der Höhenverbreitung werden in den Alpen wohl selbst bei einem Fortbestand der Klimaerwärmung nicht verschwinden (Körner 2009). Dank der topografischen Vielfalt der Alpen dürfte es ihnen gelin-

Abb. 52 > Zuwachs bei den nicht einheimischen Gefässpflanzenarten

Entwicklung der durch den Menschen nach 1500 eingeschleppten nicht einheimischen Gefässpflanzen (Neophyten) im Vergleich zu den übrigen Gefässpflanzen. Pro Höhenstufe dargestellt ist der mittlere Zuwachs der Artenzahl pro Messfläche zwischen der BDM-Ersterhebung (2001–2005) und der Zweiterhebung (2006–2010), Vertrauensbereich 95 %. N = Anzahl der Messflächen.



Quelle: Auf der Grundlage von BAFU (2012e)

gen, eine geeignete ökologische Nische zu finden. Allerdings ist damit zu rechnen, dass sich ihr Verbreitungsraum mit dem Rückzug in die Höhe verkleinern wird.

Indikatoren für die Veränderungen in Wäldern

Es gibt vielfältige Hinweise darauf, dass der Klimawandel die Schweizer Wälder heute schon beeinflusst. Die meisten Beobachtungen für Veränderungen stammen aus den letzten zwei bis drei Dekaden, beginnend in den späten 1970er-Jahren. Die mit dem Klimawandel verbundenen höheren Temperaturen und häufigere trockenere Bedingungen können Wälder und ihre Funktionen in unterschiedlicher Weise beeinflussen:

> Baumwachstum: Trockene und heisse Perioden können zu eingeschränktem Wachstum und Baumschäden bis hin zur Mortalität führen.
> Waldgrenze: Verlängerte Vegetationszeiten und höhere Temperaturen können das Wachstum steigern und die Waldgrenze nach oben verschieben.
> Wechselwirkungen in Wäldern: Die Beziehung zwischen Wirt und Insekten/Mikroorganismen kann sich ändern, da Pflanzen und Tiere unterschiedlich auf das veränderte Klima reagieren. Die Gefahr für Insektenkalamitäten steigt.
> Konkurrenz: Invasive Neophyten und Insekten/Mikroorganismen können die Konkurrenzsituation in Wäldern ändern.

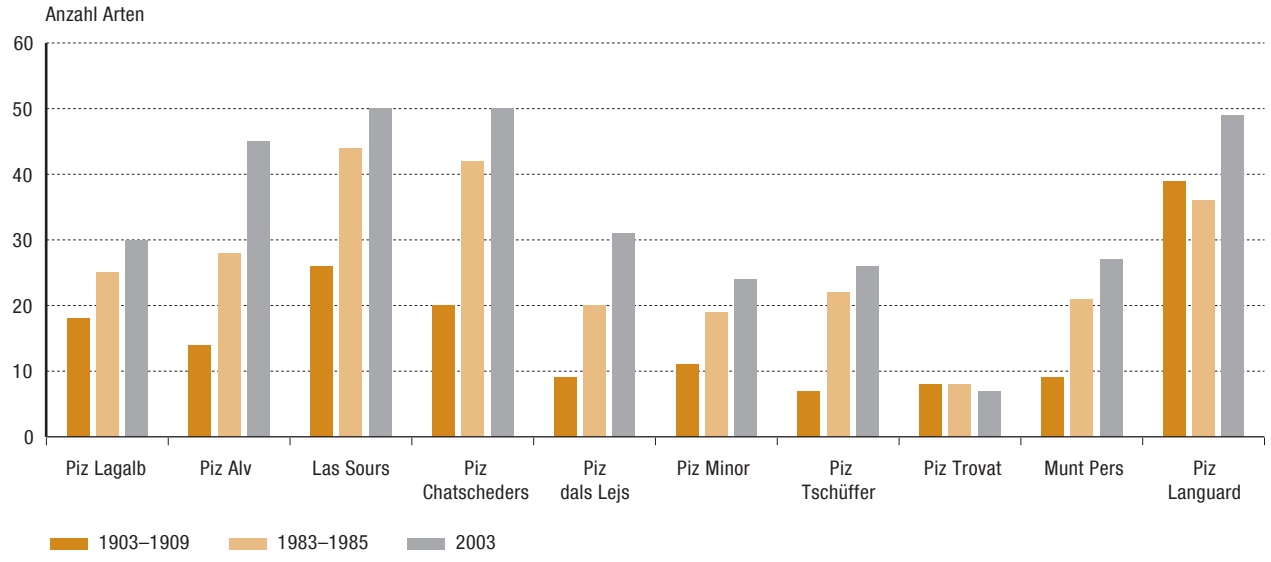
Um die Folgen des Klimawandels für Wälder einzuschätzen, werden Indikatoren zur Beschreibung und Bewertung benötigt. So sind die Wasserverfügbarkeit sowie das Wachstum und der Zustand der Bäume gute Indikatoren für Veränderungen. Ihre Bewertung, d. h. die Bestimmung von Grenzwerten und Schadschwellen, ist oft noch Gegenstand von vertiefender Forschung.

Der Wasserhaushalt von Wäldern kann mit verschiedenen Trockenheitsindizes charakterisiert werden. Diese berücksichtigen neben der Einstrahlung und dem Niederschlag auch das Wasserspeichervermögen des Bodens und Vegetationseigenschaften. Abbildung 54 zeigt die Zunahme der Sommertrockenheit in Schweizer Wäldern von 1976 bis 2010 für den Monat August (der generell trockenste Monat in der Schweiz). Der Index ETa/ETp (aktuelle/potenzielle Evapotranspiration) zeigt an, wie stark die Evapotranspiration aufgrund von Einstrahlung und/oder vermindertem Wasserangebot eingeschränkt wurde. Der niedrigste Wert wurde im Jahr 2003 erreicht.

Allerdings bedeutet eine Zunahme der sommerlichen Trockenheit nicht unbedingt «Stress» oder Schädigung. An vielen Standorten profitieren Wälder auch von den höheren Temperaturen, sofern die Wasserverfügbarkeit ausreicht. So fanden Jolly et al. (2005) im Trockenjahr 2003 in Hochlagen oberhalb von 1200 m ü. M. ein gesteigertes Baumwachs-

Abb. 53 > Anzahl Blütenpflanzenarten auf zehn Gipfeln der Bernina-Region

Die Daten stammen aus drei Erhebungen zwischen 1903 und 2003.



Quelle: Adaptiert nach Walther et al. (2005a)

tum, während es in tieferen Lagen durch Wassermangel oft reduziert war (Dobbertin 2005). Gefährdet sind Bestände an besonders zur Trockenheit neigenden Standorten mit flachgründigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität. Eine Gefahr besteht auch für besonders sensitive Bestände. Das sind zum Beispiel solche, auf denen nicht angepasste Baumbestände wachsen, wie Fichten (Picea abies) in den Tieflagen des Mittellandes. Hier zeigen neuere Auswertungen von Zeitreihen des Kronenzustandes einen Zusammenhang zwischen Klima und Kronenzustand, der den Trend aus Abbildung 54 bestätigt (Dobbertin et al. in Vorbereitung).

Nach dem Sturm Lothar begünstigte neben den frisch geworfenen Bäumen zuerst das warme Frühjahr 2000 die Entwicklung des Buchdruckers (Ips typographicus). Später schwächte der Hitze- und Trockensommer 2003 die Fichten, sodass es zum bisher grössten Borkenkäferausbruch in der Schweiz kam (Forstschutz Schweiz, Meier et al. 2005). Die jährlichen Zwangsnutzungen von Holz haben sich dadurch gegenüber dem Ende der 1990er-Jahre vorübergehend nahezu verzwanzigfacht.

In sehr trockenen Regionen wie den Trockentälern des Wallis kommt es zu reduziertem Wachstum, erhöhter Mortalität und zur Verdrängung der Föhre durch die trockenheitsverträglichere Flaumeiche (Rigling et al. 2006). Eine Zunahme der Mortalität von 1990 bis heute im Vergleich zur Periode 1970–1989 konnte festgestellt werden (Giuggiola et al. in Vorbereitung).

Die wärmeren Winter führten in der Schweiz unter anderem dazu, dass die Mistel, ein Halbparasit bestimmter Baumarten wie Tannen, Föhren und verschiedener Laubbäume, ihren Verbreitungsraum um über 200 m nach oben verschoben hat (Dobbertin et al. 2005). Im Wallis erhöht der Befall der Föhren durch die Mistel nachweislich deren Absterbewahrscheinlichkeit (Dobbertin und Rigling 2006, Rigling et al. 2006).

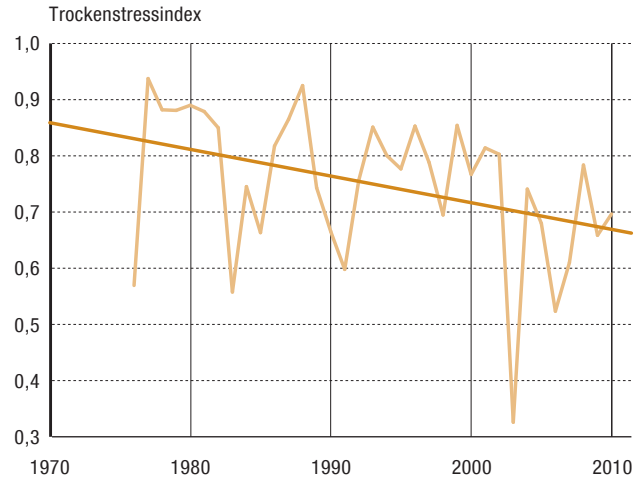
Ein Beispiel für – wahrscheinlich durch den Klimawandel – gestörte Wirt-Insekten-Beziehungen ist der Zyklus des Lärchenwicklers: Dieser zeigte in der Vergangenheit relativ regelmässig alle acht Jahre wiederkehrend eine besonders starke Vermehrung. Seit 1981 wurden keine ausgeprägten Peak-Ereignisse mehr beobachtet (Esper et al. 2007). Es ist derzeit unklar, ob sich ein neues Gleichgewicht zwischen Wickler und Lärche einstellt und ob es zu Schäden (z. B. behinderter Verjüngung der Bestände durch mangelnde Auflichtung) kommt.

Eintrittszeitpunkt der Klarwasserphase für den Genfersee und den Bodensee

Seen sind Wasserlebensräume, in denen zahlreiche verschiedene Organismen leben. Mit seinen Auswirkungen auf die Vereisung der Seeoberfläche, die Wassertemperatur, die Durchmi-

Abb. 54 > Trend des Trockenstressindex

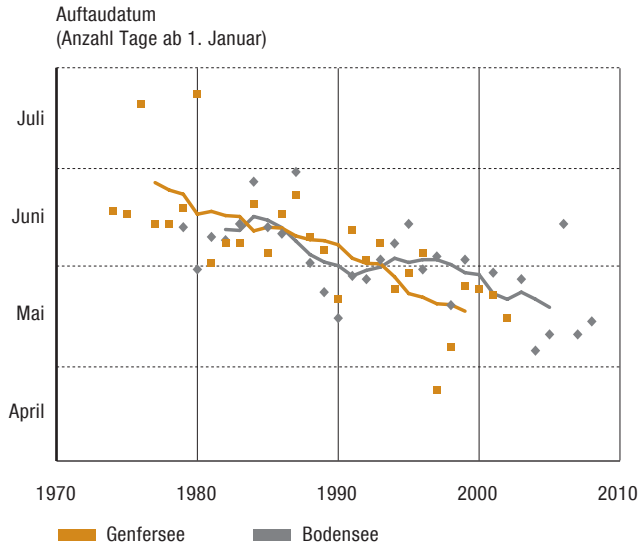
Verlauf des Mittelwerts des Trockenstressindex (ETa/ETp) für den Monat August der 35 Jahre von 1976 bis 2010 an 952 Standorten in der Schweiz mit eingezeichnetem Trend.



Quelle: Remund et al. (2011)

Abb. 55 > Datum des Einsetzens der Klarwasserphase

Die Daten stützen sich auf Aufzeichnungen über die maximale Transparenz des Genfersees (1974–2002) und des Bodensees (1979–2008). Die gleitenden Durchschnitte wurden über sieben Jahre berechnet.



Quellen: INRA (2011), Universität Konstanz (2011)

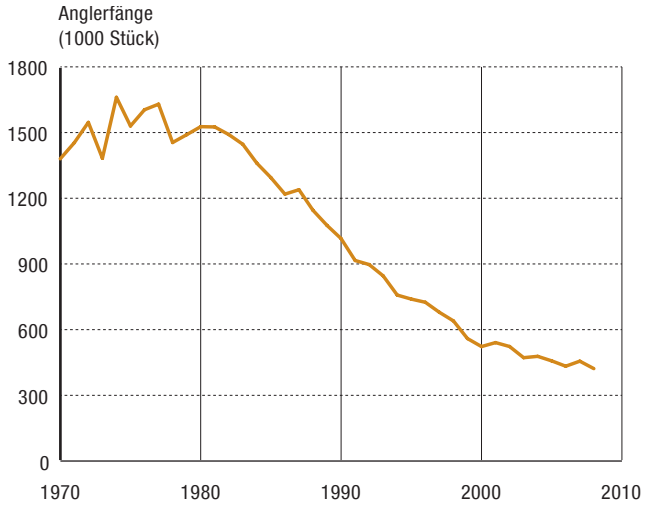
schung[21] und die thermischen Schichten ist das Klima ein wichtiger Faktor bei der Ausprägung dieser Lebensräume. Bleibt ein See beispielsweise lange zugefroren, stellt sich die Wachstumsspitze des Phytoplanktons später ein, weil das Eis die für die Photosynthese erforderliche Lichtmenge verringert. Für einige Fischarten ist die Wassertemperatur entscheidend, weil gewisse Temperaturbereiche ihr Wachstum stimulieren. Auf diese Weise können selbst geringfügige Veränderungen des Klimas den Lebensraum einer bestimmten Art modifizieren, was sich auf die Dynamik der gesamten Nahrungskette[26] auswirken oder sogar weitreichende ökologische Veränderungen zur Folge haben kann (Scheffer et al. 2001).

Die Auswirkungen des Klimas auf die pflanzlichen Wasserorganismen können nur schwer evaluiert werden, weil ihr Wachstum auch von nicht klimatischen Faktoren (Nahrungsangebot, Trübung) abhängt, deren Entwicklung das Ergebnis umweltpolitischer Massnahmen sein kann. Veränderungen beim zeitlichen Auftreten gewisser Phasen, die Seen im jahreszeitlichen Wechsel durchlaufen, können indessen mit den Witterungsverhältnissen in Verbindung gebracht werden. So vermehrt sich im Frühjahr zunächst das Plankton, was eine erhöhte Trübung des Sees zur Folge hat. Dann wird das Phytoplankton vom Zooplankton aufgefressen, und die sogenannte Klarwasserphase stellt sich ein. Diese Phase ist vom Klima abhängig, weil der Beginn der Fresstätigkeit des Zooplanktons von den Temperaturen im späten Winter und im zeitigen Frühjahr bestimmt wird (Anneville et al. 2002, Straile et al. 2003b). Der Zeitpunkt, zu dem die Klarwasserphase einsetzt, dient somit als Indikator für die Auswirkungen des Klimas auf die Dynamik der Phytoplanktongesellschaften.

Das Datum, an dem die Klarwasserphase im Genfersee und im Bodensee eintritt, ist von Jahr zu Jahr verschieden. Seit Ende der 1980er-Jahre jedoch zeichnet sich eine Tendenz hin zu einem früheren Zeitpunkt ab (Abbildung 55). Diese Entwicklung ist auf mildere Winter und die zeitigere Entwicklung des herbivoren (pflanzenfressenden) Zooplanktons zurückzuführen.

Abb. 56 > Bachforellenfänge

Bachforellenfänge schweizerischer Hobbyangler 1970–2008. Die Daten der Bachforellenfänge für den Zeitraum 1971–2001 wurden auf der Grundlage obligatorischer Fangstatistiken rekonstruiert.



Quelle: Daten: BAFU (2012f)

3.4.4 Tierwelt

Bestand an Bachforellen

Die Bachforelle ist der wichtigste Fisch für Schweizer Freizeitangler. Die schweizerische Fischereistatistik hat eine starke Abnahme der Bachforellenfänge in den letzten 30 Jahren registriert, insbesondere in den tieferen Lagen (Abbildung 56). Im gleichen Zeitraum stieg die Wassertemperatur in alpinen und voralpinen Fliessgewässern in allen Höhenlagen an (Hari et al. 2006). In tieferen Lagen ist die Temperaturzunahme am stärksten ausgeprägt.

Obwohl Fischfänge von verschiedenen Variablen abhängen, ist zumindest ein Teil der festgestellten Fangrückgänge bei den Bachforellen in der Schweiz auf den Populationsschwund zurückzuführen. Steigende Wassertemperaturen wirken sich negativ auf die Bestände aus.

Für Wachstum und Fortpflanzung 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 künstliche Barrieren[27] stark behindert wird. Dadurch 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 Lagen[28].

Wiederholte extrem hohe Sommertemperaturen führen zum Absterben empfindlicher Fischbestände, wie beispielsweise der Äschenpopulationen[29] im Rhein unterhalb des Bodensees im Hitzesommer 2003.

Bestandsentwicklung von Brutvogelarten

Der Klimawandel und die damit einhergehenden Veränderungen der Lebensräume haben auf die verschiedenen Brutvogelarten unterschiedliche Auswirkungen (Kestenholz et al. 2008). Arten mit einem Verbreitungszentrum im Mittelmeerraum (z. B. die Zaunammer) profitieren von höheren Temperaturen. Dem Alpenschneehuhn, das ganzjährig in der alpinen Zone lebt, wird es immer Sommer zu heiss, und tiefer gelegene Gebiete werden nicht mehr besiedelt. Mehr und mehr über-

wintern Arten wie die Ringeltaube, die früher im Winter wärmere Gegenden aufsuchte, im Brutgebiet. Sie können dadurch früh im Jahr mit dem Brutgeschäft beginnen und insgesamt mehr Junge aufziehen, und ihre Bestände nehmen zu. Auch Arten, die nach wie vor im tropischen Afrika überwintern (z. B. die Rauchschwalbe) kehren eher früher ins Brutgebiet zurück und profitieren von der längeren Zeit, die ihnen für das Brutgeschäft zur Verfügung steht.

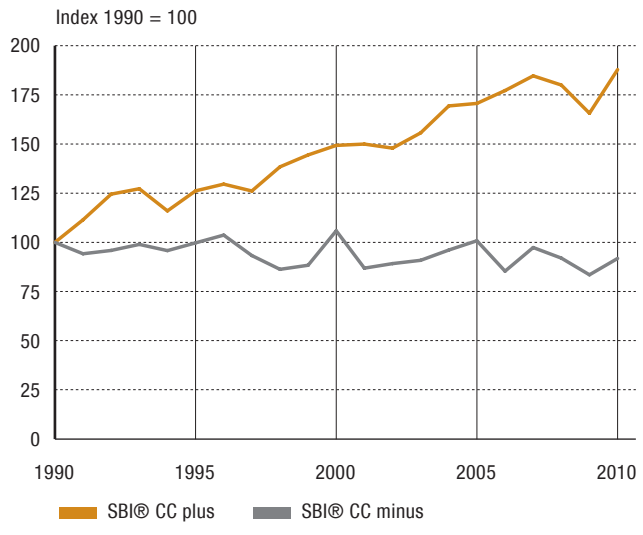
Das Klima hat Auswirkungen auf die Verbreitung der Arten. Dies zeigte eine Untersuchung, in der die Veränderungen das Verbreitungsgebietes unter dem Einfluss der Klima- und Landnutzungsänderungen im 21. Jahrhundert modelliert wurde[30] (R. Maggini, in Vorb.). Dabei zeigte sich, dass bei vielen Arten starke Arealgewinne resp. -verluste prognostiziert werden. Veränderungen im Verbreitungsgebiet gehen in der Regel mit Bestandsveränderungen einher. Eine Zunahme des Verbreitungsgebietes beruht auf einer Bestandszunahme; bei einer Bestandsabnahme werden zunehmend Teile des ursprünglichen Verbreitungsgebietes nicht mehr besiedelt.

Entsprechend dem prognostizierten relativen Gewinn resp. Verlust von Arealfläche wurden die Brutvogelarten rangiert. Für die Berechnung des Swiss Bird Index SBI® Climate Change wurden jene 20 Arten ausgewählt, deren Areal nach beiden Szenarien die grössten Gewinne bzw. Verluste aufwiesen (Tabelle 1). Der Swiss Bird Index SBI® Climate Change umfasst die mittlere Bestandsentwicklung von zwei Artengruppen – eine (SBI® CC plus[31]) für Arten mit prognostiziertem Arealgewinn und eine für Arten mit prognostizierten Arealverlusten (SBI® CC minus[32]) innerhalb der Schweiz.

Die Abbildung 57 zeigt, dass die Bestände von Arten für die eine Zunahme des Verbreitungsgebiets prognostiziert wird, seit 1990 im Durchschnitt stark zugenommen haben. Demgegenüber weisen Arten, bei denen ein Arealverlust prognostiziert wird, keine entsprechend starke durchschnittliche Abnahme auf. Das kann verschiedene Gründe haben. Brutvögel halten gerne an ihren einmal besetzen Revieren fest. Ein früh einsetzender Frühlingsbeginn und mildes Wetter während der Fortpflanzungszeit sind auch für diejenigen Arten positiv, die längerfristig Teile ihres Verbreitungsgebietes verlieren.

Abb. 57 > Bestandsentwicklung von Brutvogelarten (2 Artengruppen gemäss Swiss Bird Index Climate Change)

Aktuelle Bestandsentwicklung von Brutvogelarten, für die eine starke Schrumpfung (SBI® CC minus) resp. Ausdehnung (SBI® CC plus) des Verbreitungsgebietes in der Schweiz bis Ende des 21. Jahrhunderts vorausgesagt wird. Die jahrweisen Werte entsprechen dem Geometrischen Mittel der Indexwerte der Einzelarten (Zbinden et al. 2005).



Quelle: Vogelwarte 2012

3.4.5 Gesellschaft und Wirtschaft

Auswirkungen von Hitzewellen auf die Sterblichkeit

Hitzewellen belasten den menschlichen Organismus. Wird der Körper hohen Temperaturen ausgesetzt, versucht er sich durch Schwitzen abzukühlen. Erste Auswirkungen auf die Gesundheit bei längerer Exposition sind Dehydrierung, Krämpfe und Hitzeohnmacht. Unter Umständen kann der Körper seine thermische Regulierungsfähigkeit verlieren, und es kann zu schweren gesundheitlichen Komplikationen kommen. Ein Hitzschlag, bei dem die Körpertemperatur 40 °C übersteigt, kann sogar lebensgefährlich sein. Ältere Menschen sind aufgrund ihrer weniger effizienten Wärmeregulierung besonders gefährdet, und Säuglinge sind anfällig für Dehydrierung.

Die Zunahme der Todesfälle im Zusammenhang mit dem Hitzesommer 2003 illustriert, welch schwere Folgen Temperaturanstiege für die menschliche Gesundheit haben können. Ergebnisse des europäischen CANICULE-Projekts (Robine 2008) zeigen, dass die Hitzewelle im Sommer 2003 rund 70 000 zusätzliche Todesfälle in Europa verursacht hat. Im Vergleich zur mittleren Mortalität im Monat August zwischen 1998 und 2002 hat die Mortalität 2003 in Frankreich um 37 %, in Portugal um 28 %, in Luxemburg um 25 %, in Spanien um 23 % und in Italien um 22 % zugenommen. Der Hitzesommer 2003 forderte auch in der Schweiz Opfer. Laut Schätzungen starben damals 975 mehr Menschen als in normalen Jahren (BAG 2012a). Von der erhöhten Sterblichkeit waren vor allem die Städte betroffen. Geringe Luftzirkulation, hohe Absorption der Sonneneinstrahlung durch die Gebäude und die Abgabe von Wärme aus menschlichen Aktivitäten führen zur Bildung urbaner Hitzeinseln mit einem sehr heissen Mikroklima.

Die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Sterblichkeit können langfristig nur schwer bestimmt werden, weil die Sterblichkeit in erster Linie vom Bevölkerungswachstum und von den Fortschritten in der Medizin abhängt. Abbildung 58 setzt die Anzahl der Hitzetage[33] mit dem Anteil der Sommersterblichkeit an der Jahressterblichkeit in Beziehung. In den letzten 50 Jahren wurden nur in den Sommern 1994, 2003 und 2006 mehr als 15 Hitzetage registriert. Drei der vier Jahre mit der höchsten Sommersterblichkeit fallen mit diesen ausserordentlich heissen Sommern zusammen. Mit der zunehmenden Umsetzung von Massnahmen auf Kantonsebene (Hitzewarnsysteme) dürfte sich diese Beziehung in Zukunft abschwächen.

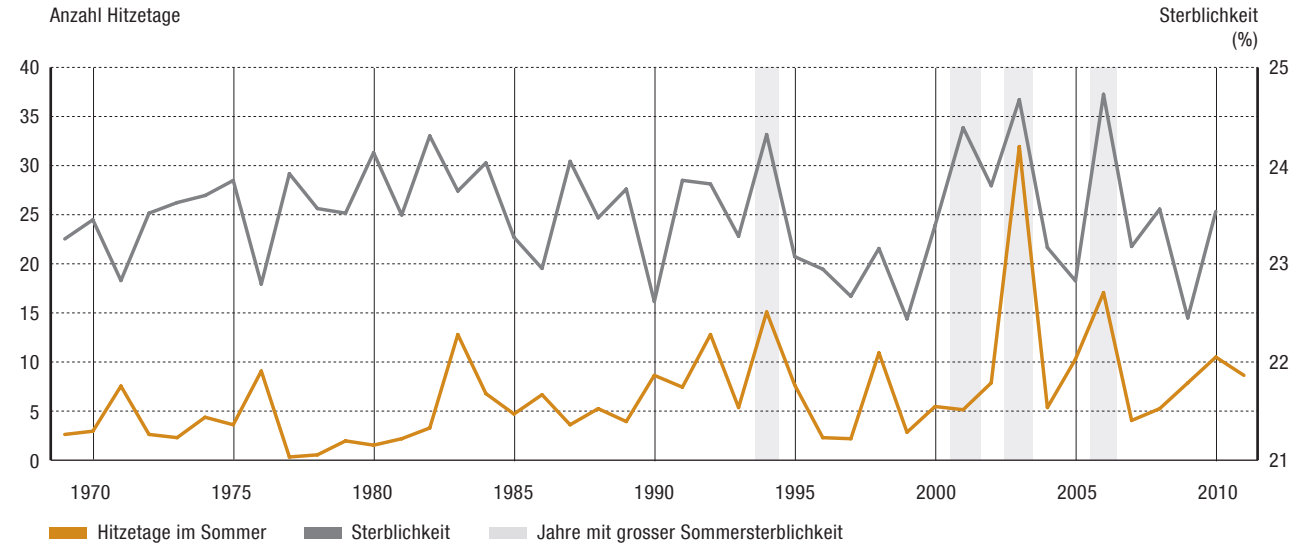
Ausbreitung der Zecken und Zecken-Enzephalitis-Fälle

Zecken halten sich häufig im Unterholz von Laubwäldern, an Waldrändern oder auf Lichtungen auf und sind bis auf ca. 1500 m ü. M. anzutreffen. Durch einen Zeckenbiss kann neben der bakteriellen Krankheit Lyme-Borreliose in seltenen Fällen auch die Virusinfektion FSME (Frühsommer-Meningoenzephalitis, auch Zecken-Enzephalitis genannt) auf den Menschen übertragen werden. Jedes Jahr infizieren sich mehrere Tausend Menschen in der Schweiz mit Borreliose (Abbildung 59). Zwischen 2008 und 2010 tendierten die Schätzwerte nach unten, um danach wieder anzusteigen. Die Gründe für diese Fluktuationen sind bislang nicht geklärt. Da FSME-Fälle[34] in der Schweiz meldepflichtig sind, ist ein Anstieg seit den späten 1990er-Jahren nachweisbar (Abbildung 60). Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat praktisch alle Kantone des Mittellandes zum Zeckenrrisikogebiet erklärt und empfiehlt der Bevölkerung in dieser Region, sich gegen FSME impfen zu lassen (BAG 2012b).

In der Schweiz sind parallel zur Klimaänderung eine Ausbreitung der Zecken in Höhenlagen (Morán Cadenas et al. 1997) und eine Verlängerung des jahreszeitlich bedingten Aktivitätszeitraums der Zecken (Burri et al. 2011) feststellbar. Zecken reagieren stark auf Witterungsbedingungen, insbesondere auf hohe Temperaturen und geringe Niederschläge. Abnehmende Sommerniederschläge und heisse Sommer verschlechtern die Lebensbedingungen für Zeckenpopulationen und können die Verbreitung der Krankheitserreger beeinflussen. Insgesamt dürfte die Klimaänderung über grössere Zeiträume hinweg zu einer Verschiebung der Endemiegebiete des FSME-Virus in höhere Lagen und nördlichere Breitengrade führen (OcCC/ProClim- 2007, Randolph und Rogers 2000). Im Hinblick auf die Lyme-Borreliose hingegen hat eine jüngste Untersuchung (Herrmann und Gern 2010) gezeigt, dass die mit dem Krankheitserreger infizierten Zecken trockene, heisse Witterungsbedingungen besser überstehen als gesunde Zecken. Folglich muss im Zuge der Klimaerwär-

Abb. 58 > Sterblichkeit in Hitzewellen

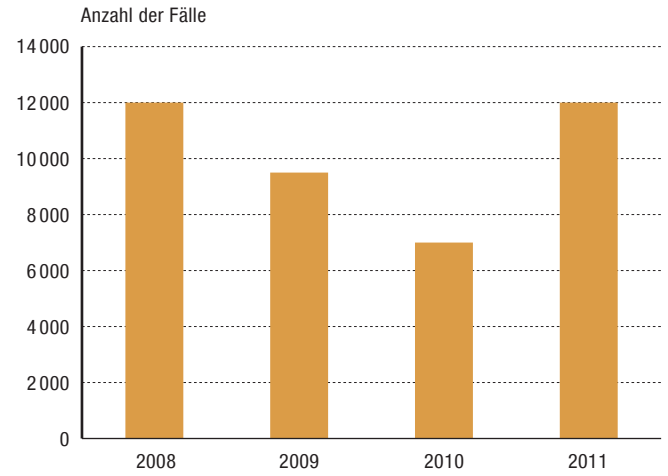
Anzahl Hitzetage im Sommer (Mittelwerte von acht Stationen im Mittelland) und Anteil der Sommersterblichkeit an der übrigen Jahressterblichkeit der Bevölkerung.



Quellen: BFS (2012d), MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 59 > Anzahl der an Lyme-Borreliose erkrankten Personen

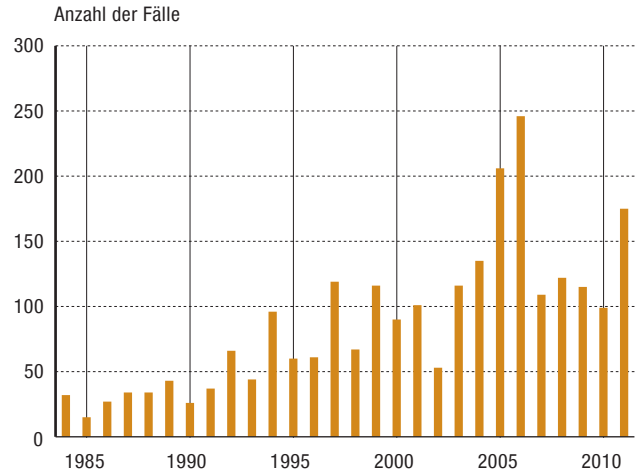
Anzahl der Lyme-Borreliose-Fälle pro Jahr 2008–2011.



Quelle: BAG (2012c)

Abb. 60 > Anzahl der an Zecken-Enzephalitis erkrankten Personen

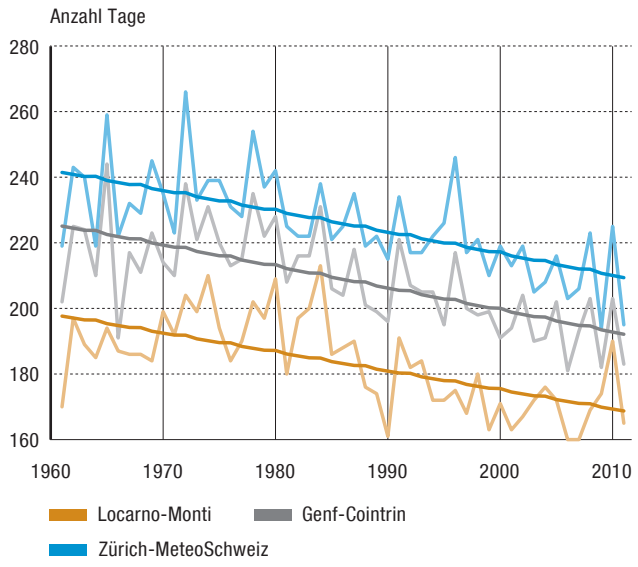
Anzahl der Zecken-Enzephalitis-Fälle pro Jahr, 1984–2011.



Quelle: BAG (2012d)

Abb. 61 > Heiztage 1961–2011

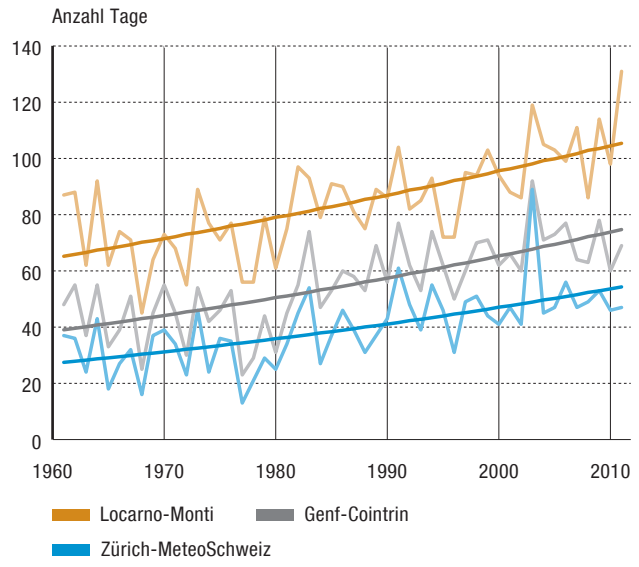
Anzahl Tage pro Jahr mit Tagesmitteltemperaturen unter 12 °C.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

Abb. 62 > Kühltage 1961–2011

Anzahl Tage pro Jahr mit Tagesmitteltemperaturen über 18,3 °C.



Quelle: MeteoSchweiz (2012b)

mung mit einer steigenden Anzahl infizierter Zecken gerechnet werden.

Die gegenwärtige Zunahme der FSME kann nicht direkt mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht werden. Ein möglicher Grund für den Anstieg der registrierten FSME-Fälle ist die längere Kontaktperiode von Zecken und Menschen. Bei einer moderaten Klimaerwärmung verlängert sich die Aktivitätszeit dieser Spinnentiere (Burri et al. 2011). Gleichzeitig ändern sich bei wärmerem Wetter auch Freizeitverhalten und Bekleidung des Menschen, was die Wahrscheinlichkeit des Kontakts mit Zecken erhöht (Randolph et al. 2008).

Heiz- und Kühltage

Heiztage sind die Tage, an denen die mittlere Aussentemperatur 12 °C oder weniger beträgt und an denen normalerweise geheizt wird, um eine Raumtemperatur von 20 °C aufrechtzuerhalten. Heiztage sind die Grundlage zur Berechnung der Heizgradtage, die 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 3.1.2).

Kühltage werden hier als einfacher Indikator verwendet für Bedingungen, bei denen als angenehm empfundene Raumtemperaturen überschritten werden und der Wunsch nach Kühlung aufkommt. Da keine offizielle Definition für Kühltage 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 °C (65 Grad Fahrenheit) gekühlt wird. Heiz- und Kühltage sind somit ein Indiz für Heiz- und Kühlleistungen.

Die Entwicklung der Heiztage zeigt, dass die Notwendigkeit zu heizen in der Schweiz abnimmt (Abbildung 61). An allen drei Standorten der Nord-, Süd- und Westschweiz ist ein starker Rückgang der Heiztage festzustellen, und zwar um fünf bis sieben Tage pro Dekade bzw. total um rund 15 % in der Periode 1961–2011.

Die Kühltage zeigen eine starke Zunahme von fünf bis acht Tagen pro Dekade bzw. um total 50 bis 70 % in der Periode 1961–2011 (Abbildung 62). Auch wenn es in der Schweiz unüblich sein dürfte, bereits bei einer Temperatur von über 18,3 °C zu kühlen, ist der Indikator doch geeignet, um zu illustrieren, dass in den letzten 50 Jahren die Kühlleistungen in allen Landesteilen angestiegen sind.

3.5 Massnahmen zur Emissionsverminderung

In den periodischen Berichten zuhanden der UNO-Klimakonvention werden die klimapolitischen Massnahmen der Schweiz umfassend beschrieben (Schweizerische Eidgenossenschaft 2009). Da die energiebedingten CO_2-Emissionen in der Schweiz einen Anteil von etwa 80 % an den gesamten Treibhausgasemissionen ausmachen, liegt der Schwerpunkt der klimapolitischen Massnahmen bei der Reduktion dieser Emissionen. Die wichtigsten Indikatoren zeigen, dass die Massnahmen einen positiven Effekt auf die Emissionsentwicklung haben. Die Ziele konnten allerdings bisher nur teilweise erreicht werden. Insbesondere im Verkehrsbereich ist der Handlungsbedarf nach wie vor gross.

3.5.1 Überblick über emissionsvermindernde Massnahmen

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 CO_2-Gesetz bilden die rechtliche Grundlage für die Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Die Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Massnahmen in den einzelnen Politikbereichen.

Energiebedingtes CO_2 ist in der Schweiz das wichtigste Treibhausgas und heute für etwa 80 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich (vgl. Kapitel 3.2.1). Diesem hohen Anteil versucht das CO_2-Gesetz entgegenzuwirken: Die meisten klimapolitischen Massnahmen in den verschiedenen Politikbereichen zielen spezifisch auf die Reduktion oder Vermeidung von energiebedingten CO_2-Emissionen.

Neben den Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen wird es zunehmend wichtig, sich den Auswirkungen des Klimawandels anzupassen. Der erste Teil der Anpassungsstrategie des Bundesrats (BAFU 2012) wurde 2012 verabschiedet (vgl. Kapitel 3.6).

3.5.2 Rechtliche Grundlagen

Zeitraum 2008 bis 2012

Die schweizerische Klimapolitik ist auf die Ziele des Kyoto-Protokolls und des CO_2-Gesetzes ausgerichtet. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls hat sich die Schweiz verpflichtet, im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 die Gesamtsumme der Emissionen von sechs Treibhausgasen um 8 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Dabei dürfen die Waldsenkenleistung und in beschränktem Umfang der Kauf ausländischer Emissionsminderungszertifikate berücksichtigt werden. Mit dem CO_2-Gesetz soll der CO_2-Ausstoss aus der energetischen Nutzung fossiler Energieträger im gleichen Zeitraum um 10 % unter den Wert von 1990 gesenkt werden, und zwar einerseits durch eine Erhöhung der Energieeffizienz und andererseits durch die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energieträger.

Das CO_2-Gesetz erlaubt die Berücksichtigung ausländischer Emissionsminderungszertifikate, nicht aber die Berücksichtigung der Waldsenkenleistung bei der Bestimmung der Zielerreichung.

Die Ziele des CO_2-Gesetzes und des Kyoto-Protokolls sind kompatibel. Mit der Reduktion der CO_2-Emissionen 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 CO_2-Gesetz enthält zudem 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. Energie-Schweiz, LSVA)
> CO_2-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe
> Teilzweckbindung der CO_2-Abgabe (zur Finanzierung von Massnahmen im Gebäudebereich)
> Abgabebefreiung und Emissionshandel für emissionsintensive Unternehmen
> Klimarappen auf Treibstoffe
> Flexible Mechanismen des Kyoto-Protokolls (Zukauf von Emissionszertifikaten aus Reduktionsprojekten im Ausland)
> CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen

Ende 2010 waren ca. 44 % der energiebedingten CO_2-Emissionen der Schweizer Wirtschaft – über 2000 Unternehmen – in freiwilligen Zielvereinbarungen unter dem Dach der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) bzw. in der Einzelzielvereinbarung der Schweizer Zementindustrie mit dem UVEK eingebunden oder standen vor dem Abschluss einer Zielvereinbarung.

Die Vereinbarungen mit der EnAW beziehen sich vor allem auf Massnahmen, die den Energieverbrauch im stationären Bereich betreffen (Heizungen, Industrieprozesse). 2005 wurde der «Klimarappen» als weitere freiwillige Massnahme der Wirtschaft eingeführt. 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. 2007 hat das Parlament zwei zusätzliche Massnahmen genehmigt: die Einführung der CO_2-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe in der Höhe von 12 Franken pro Tonne CO_2 ab Januar 2008 und die steuerliche Begünstigung von biogenen Treibstoffen. Mit der Einführung der CO_2-Abgabe auf Brennstoffe haben bis heute mehr als 1000 Unternehmen ihre freiwilligen CO_2-Reduktionsziele in verpflichtende Ziele überführt. Sie wurden im Gegenzug von der CO_2-Abgabe befreit.

Tabelle 1 > Die wichtigsten emissionswirksamen Massnahmen 2008 bis 2012.

Politikbereich und Massnahmen	Bezeichnung der Politik oder Massnahme	Ziel und/oder entsprechende Aktivität	Betroffene Treibhausgase	Status	Anwendungszeitraum
Klima	CO_2-Gesetz	Reduktion der energiebedingten CO_2-Emissionen im Mittel der Jahre 2008–2012 um 10 % gegenüber dem Stand von 1990	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Mai 2000 in Kraft
	System für den Handel mit Treibhausgasen (Cap-and-Trade-System)	Flexibilität bei der Einhaltung der Vereinbarungen namentlich für energieintensive Betriebe	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Januar 2008 in Kraft
	CO_2-Lenkungsabgabe auf fossile Brennstoffe	– 2008–2009: 12 Franken/t CO_2 auf fossile Brennstoffe – Ab 2010: Erhöhung auf 36 Franken/t CO_2	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Januar 2008 in Kraft
	Befreiung von der CO_2-Abgabe (Zielverhandlung)	Emissionsreduktion mit dem Ziel, von der CO_2-Abgabe befreit zu werden	CO_2	Wird durchgeführt,	Seit 1. Januar 2008 in Kraft
	Nationales Gebäudesanierungsprogramm (landesweite Komponente)	Sanierung bestehender Gebäude	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Januar 2010 in Kraft
	Klimarappen	0,015 Franken/l Diesel und Benzin zur Finanzierung emissionsreduzierender Projekte in der Schweiz und im Ausland	CO_2	Wird durchgeführt	Von 2005 bis 2012 in Kraft
	Flexible Mechanismen gemäss Kyoto-Protokoll	Emissionsminderungszertifikate zur Einhaltung der Vereinbarungen unter dem Kyoto-Protokoll	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 2008
Klima / Energie	Freiwillige Vereinbarungen mit Gewerbe und Wirtschaft	Reduktion der CO_2-Emissionen und des Energieverbrauchs	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1997 in Kraft, seit 2009 europaweit harmonisiert
	Nationales Gebäudesanierungsprogramm (Kantonale Komponente)	Vermehrter Einsatz erneuerbarer Energien, Reduktion von Wärmeverlusten technische Installationen	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Januar 2010 in Kraft
	Programm EnergieSchweiz, Aktionsplan für erneuerbare Energien und Energieeffizienz	Sektorspezifische Ziele	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 2001 in Kraft
	Weitere kantonale Programme im Gebäudebereich	Ergänzung der nationalen Programme	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1. Januar 2010 in Kraft
	Kantonale Baurichtlinien	Begrenzung des Energiebedarfs von Gebäuden	CO_2	Wird durchgeführt und kontinuierlich verschärft	Seit 1. Januar 1992 in Kraft, 2000 und 2008 modifiziert
	Energiesparprogramme (Programm EnergieSchweiz)	Reduktion der CO_2-Emissionen und des Energieverbrauchs	CO_2	Wird durchgeführt	2001 lanciert

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

(Fortsetzung)

Verkehr	Schadstoffabhängige Landegebühren (Directive Aircraft Engine Emissions Charges)	Reduktion der lokal und im Reiseflug generierten NO_x-Emissionen	Ozon	Wird durchgeführt	Seit 1997 in Kraft, seit 2009 europaweit harmonisiert
	Verschärfung der Vorgaben über die NOx-Emissionen von Flugzeugmotoren	Reduktion der lokal und im Reiseflug generierten NO_x-Emissionen	Ozon	Geplant	
	Einführung von Richtlinien für Masse und Anzahl der von Flugzeugmotoren ausgestossenen Partikel	Reduktion der Russpartikel im Nanometerbereich	Russ und Kondensstreifen	Geplant	
	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe	Internalisierung externer Kosten	CO_2	durchgeführt	Seit 2001 in Kraft
	Emissionsnormen EURO	Reduktion von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	Wird durchgeführt und kontinuierlich verschärft	Seit 1974 in Kraft
	Senkung der Mineralölsteuer für Biotreibstoffe und Erdgas	Reduktion der CO_2-Emissionen	CO_2	durchgeführt	Seit 2008 in Kraft
	Energieetikette für Personenwagen	Reduktion des Energieverbrauchs, der Lärmbelastung und der Luftschadstoffe	CO_2 und Ozon	durchgeführt	Seit 2003 in Kraft
	CO_2-Emissionsvorschriften für Personenwagen	Reduktion der durchschnittlichen CO_2-Emissionen neu zugelassener Personenwagen	CO_2	durchgeführt	Seit 1. Mai 2012 in Kraft
Synthetische Gase	Reduktion der Risiken beim Umgang mit Chemikalien (ChemRRV)	Reduktion des Verbrauchs und der Emission synthetischer Treibhausgase in den wichtigsten Sektoren	HFC, PFC, SF_6, FCKW, HFCKW	Wird durchgeführt	Seit 2005 in Kraft
	Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (StoV)	– Begrenzung des Einsatzes und der Emission von synthetischen Treibhausgasen (stabile Stoffe) und vollständiges Verbot von FCKW – Freiwillige Branchenvereinbarungen über die Reduktion von SF_6-Emissionen	HFC, PFC, SF_6, FCKW, HFCKW	Wird durchgeführt	Seit 2003 in Kraft
Landwirtschaft	Ökobeiträge (DZV)	Ausgeglichene Düngebilanz, angemessene ökologische Ausgleichsflächen, Fruchtfolge, angemessener Bodenschutz, Auswahl und gezielte Anwendung der Pflanzenbehandlungsmittel, Tierwohl	CH_4, N_2O, CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1998 in Kraft
	Klimastrategie Landwirtschaft	Reduktion der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft	CH_4, N_2O, CO_2	Angenommen, wird im Rahmen der Agrarpolitik angepasst	2011 lanciert
	Programme zur nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen	Effiziente Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen	CH_4, N_2O, CO_2	Wird durchgeführt	Seit 2008 in Kraft

Landnutzung: Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)	Erhaltung der Waldflächen (WaG)	Rodungen werden durch Aufforsten einer gleich grossen Fläche kompensiert.	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1876 in Kraft
	Nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder (WaG)	Erntevolumen des Waldes dürfen nachwachsende Volumen nicht übersteigen.	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1993
	Programm Holz 21	Vermehrter Einsatz von Holz als Brennstoff	CO_2	Abgeschlossen	2001–2008
	Aktionsplan Holz	Erhöhung der Ernteerträge und vermehrte Nutzung von Holz bis zu 8,5*106 m^3/a	CO_2	Wird durchgeführt	2008–2012
Abfälle	Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG)	Abfallrecycling	CO_2	Wird durchgeführt	Seit 1997 in Kraft
	Technische Verordnung über Abfälle (TVA)	Deponieverbot für brennbare Abfälle	CH_4, CO_2	Wird durchgeführt	Seit 2000 in Kraft
	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) – Klima-Charta	Erhöhung der Energieffizienz der KVA und verbessertes Einsammeln von wertvollen Stoffen wie Eisen und Nichteisenmetallen	CO_2	Angenommen	Seit 2012 in Kraft

Quelle: Auf der Grundlage von Schweizerische Eidgenossenschaft (2009b)

Mitte 2009 beschloss das Parlament, ab 2010 einen Drittel der Einnahmen aus der CO_2-Abgabe auf Brennstoffe, maximal 200 Millionen Franken pro Jahr, für die Finanzierung von emissionsreduzierenden Massnahmen im Gebäudebereich zweckzubinden. Da die CO_2-Abgabe per 1. Januar 2010 auf 36 Franken pro Tonne CO_2 erhöht wurde, stehen für das Gebäudeprogramm aus der Teilzweckbindung jährlich knapp 200 Millionen Franken zur Verfügung.

Um die Zielerreichung für das Kyoto-Protokoll schätzen zu können, wurde die Bilanz der Treibhausgasemissionen für den Verpflichtungszeitraum 2008–2012 auf der Basis zweier Emissionsszenarien berechnet, wobei ein Szenario von tiefen und das andere von hohen Emissionen ausging. Ausländische Emissionszertifikate, die Kohlenstoffsenkenleistung der Schweizer Wälder und die in die nächste Verpflichtungsperiode übertragenen Emissionsrechte wurden dabei berücksichtigt (Tabelle 2). Die Tabelle zeigt, dass es noch ungewiss ist, ob die Zielvorgabe erreicht werden kann. Bei einer Entwicklung im mittleren Bereich wäre die Zielabweichung nahe null, d. h., das Ziel wäre erreicht. Ein negatives Szenario kann indessen nicht ausgeschlossen werden, und in diesem Fall wäre das Ziel verfehlt. Die Schwierigkeiten bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen sind das Ergebnis von gegenläufigen Entwicklungen. So wird die Wirkung der ergriffenen Massnahmen durch den Anstieg der Verkehrsvolumen, das Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum zum Teil kompensiert.

Zeitraum 2013 bis 2020

Für den Zeitraum nach 2012 wurde das CO_2-Gesetz revidiert. Das Parlament hat im Dezember 2011 beschlossen, die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2020 um mindestens 20 % gegenüber 1990 zu senken. Durch den im revidierten CO_2-Gesetz vorgesehenen Fokus auf Reduktionsleistungen im Inland werden die vorhandenen Reduktionspotenziale im Inland genutzt und Impulse für die vermehrte Nutzung erneuerbarer, emissionsarmer Energieträger sowie für technologische Innovationen und die Schaffung von Arbeitsplätzen in zukunftsträchtigen Branchen gegeben. Effizienzsteigerungsmassnahmen im Inland reduzieren zudem die Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland und tragen zur Verringerung der Gesundheitsbelastung durch Luftschadstoffe bei. Das revidierte CO_2-Gesetz tritt per 1. Januar 2013 in Kraft.

Die neuen rechtlichen Grundlagen knüpfen nahtlos am bisherigen CO_2-Gesetz an. Bewährte Massnahmen und Instrumente werden weitergeführt und verbessert, zusätzliche Massnahmen werden eingeführt.

- > Massnahmen weiterer Politikbereiche (z. B. Energie-Schweiz, LSVA)
- > CO_2-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe
- > Teilzweckbindung der CO_2-Abgabe (zur Finanzierung von Massnahmen im Gebäudebereich)
- > Abgabebefreiung und Emissionshandel für emissionsintensive Unternehmen
- > Kompensationspflicht für Importeure fossiler Treibstoffe
- > Kompensationspflicht für Betreiber fossilthermischer Kraftwerke
- > Flexible Mechanismen des Kyoto-Protokolls (Zukauf von Emissionszertifikaten aus Reduktionsprojekten im Ausland)
- > CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen

Tabelle 2 > Erreichung der Ziele des Kyoto-Protokolls

Jahreswerte für die Verpflichtungsperiode 2008–2012.

	Treibhausgasemissionen in Millionen Tonnen CO_2eq pro Jahr
Geschätzte Emissionen 2008–2012	51,4 bis 53,1
Ausländische Emissionsminderungszertifikate (Klimarappen)	–3,0 bis –2,8
Senkenleistung des Schweizer Waldes	–1,8 bis –0,4
Übertragung von Emissionsrechten in die nächste Verpflichtungsperiode (Banking durch Firmen im Emissionshandelssystem)	0,25 bis 0,35
Netto-Emissionen 2008–2012	46,9 bis 50,3
Zielwert Kyoto-Protokoll (gemäss Zuteilung von Emissionsrechten durch die UNO)	48,6
Ziellücke (negativer Wert bedeutet Übererfüllung)	–1,7 bis +1,7

Quelle: BAFU 2012z

3.5.3 Verbrauch und CO_2-Emissionen von neuen Personenwagen

Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat zusammen mit der Vereinigung Schweizer Automobil Importeure (VSAI) im Jahr 2002 eine Zielvereinbarung zur Reduktion des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs der Neuwagen von jährlich 3 % abgeschlossen. Gemäss dieser Zielvereinbarung hätte der Treibstoffverbrauch bis 2008 auf 6,4 l/100 km gesenkt werden sollen. Es ist zu berücksichtigen, dass die Zahl der verkauften neuen Personenwagen sich auf die von der Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure (autoschweiz) erfassten Fahrzeuge bezieht. Die von unabhängigen und privaten Importeuren eingeführten Autos sind darin nicht enthalten. Die Zahl der insgesamt in Verkehr gesetzten neuen Personenwagen betrug in 2011 gemäss Bundesamt für Statistik 327 955 BFS (2012a).

Der durchschnittliche Verbrauch von Neuwagen[35] betrug im Jahr 2011 6,4 l/100 km, was einem durchschnittlichen CO_2-Emissionswert von 155 g CO_2/km entspricht. Die Zielvereinbarung für das Jahr 2008 wurde damit klar verfehlt und konnte nur mit dreijähriger Verzögerung erreicht werden. Aus diesem Grund hat das Parlament entschieden, ab Mai 2012 wie die EU einen verbindlichen CO_2-Zielwert von 130 g CO_2/km einzuführen, der bis 2015 im Durchschnitt der Neuwagenflotte erreicht werden muss. Importeure, die ihre Zielvorgabe verfehlen, müssen pro Gramm über dem Zielwert eine Sanktion bezahlen. Die CO_2-Vorschriften werden flankiert von einer seit Mitte 2011 angepassten Energieetikette, die den absoluten Treibstoffverbrauch bei der Kategorieneinteilung stärker gewichtet als bisher.

Unter dem Druck der verbindlichen Zielvorgaben wurden die durchschnittlichen Emissionen der Neuwagen seit 2008 deutlich reduziert. Ein in den Jahren 2008 und 2009 absehbarer Trend in Richtung leichtere Fahrzeuge konnte jedoch nicht bestätigt werden (Tabelle 3). Wie Abbildung 63 zeigt, weist aber die Fahrzeugmotorisierung in den vergangenen Jahren eine stark sinkende Tendenz aus («Downsizing»). Der durchschnittliche Hubraum der Neuwagen nahm von 1987 cm^3 im Jahr 2006 auf 1780 cm^3 im Jahr 2011 ab. Der Anteil von Fahrzeugen mit einem Hubraum unter 1800 cm^3 nahm im gleichen Zeitraum von 42 auf knapp 60 % zu.

Der Anteil der Dieselfahrzeuge stieg bis 2005 stark an und bewegt sich seither relativ konstant um 30 %. Während der durchschnittliche CO_2-Ausstoss bei den Dieselfahrzeugen lange niedriger war als bei den Benzinfahrzeugen, hat sich dieses Bild in den letzten Jahren gewendet (2011: 158 g/km

Tabelle 3 > Entwicklung der Verbrauchswerte von neuen Personenwagen

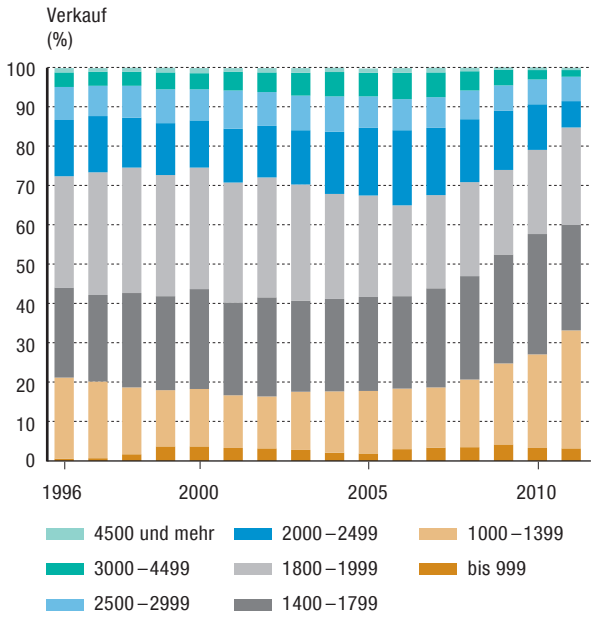
Entwicklung der Verkaufszahlen sowie der Durchschnittswerte für Treibstoffverbrauch, CO_2-Emissionen und Gewicht der neu in Verkehr gesetzten Personenwagen.

	verkaufte Neuwagen (auto-schweiz)	durch-schnittlicher Verbrauch in l/100 km	durch-schnittliche Emission in g CO_2/km	Durch-schnitts-gewicht 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
2007	282 059	7,43	183	1502
2008	286 341	7,14	175	1473
2009	256 974	6,86	167	1448
2010	279 908	6,62	161	1456
2011	294 082	6,39	155	1483
Ziel gemäss Vereinbarung		2008: 6,40		

Quellen: auto-schweiz (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012)

Abb. 63 > Verkauf von Neuwagen nach Hubraumklasse

Anteil der Hubraumklassen (in cm^3) der verkauften Neuwagen in den Jahren 1996 bis 2011.



Quelle: auto-schweiz (2012)

versus 153 g/km). Dies hat damit zu tun, dass das Downsizing insbesondere bei den Benzinfahrzeugen zu beobachten ist und die Dieselvarianten eher bei Fahrzeugen mit stärkerer Motorisierung angeboten und gekauft werden. Im Verhältnis zum Gewicht bleiben die Dieselfahrzeuge jedoch weiterhin CO_2-effizienter.

3.5.4 Massnahmen im Gebäudebereich

In der Schweiz fallen über 40 % der inländischen CO_2-Emissionen und des Energieverbrauchs im Gebäudebereich an. Über zwei Drittel der Gebäude werden fossil beheizt, und rund 1,5 Millionen Bauten sind energetisch sanierungsbedürftig. Das Potenzial ist erkannt, und Bund und Kantone setzen im Rahmen der CO_2- und Energiegesetzgebung verschiedene Massnahmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen und des Energieverbrauchs um.

Förderprogramme (Abbildung 64): Der Bund richtet den Kantonen seit dem Jahr 2000 jährlich Globalbeiträge für Förderprogramme zur sparsamen und rationellen Energienutzung sowie zur Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme aus.

Seit 2010 ist zudem das nationale Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen in Kraft, das landesweit einheitlich die energetische Sanierung der Gebäudehülle (Nationaler Teil) und über die oben genannten Globalbeiträge den Einsatz von erneuerbaren Energien, die Abwärmenutzung und die Gebäudetechnik fördert (Kantonaler Teil). Das Programm wird durch eine Teilzweckbindung der Einnahmen aus der CO_2-Abgabe auf Brennstoffe und kantonale Beiträge finanziert.

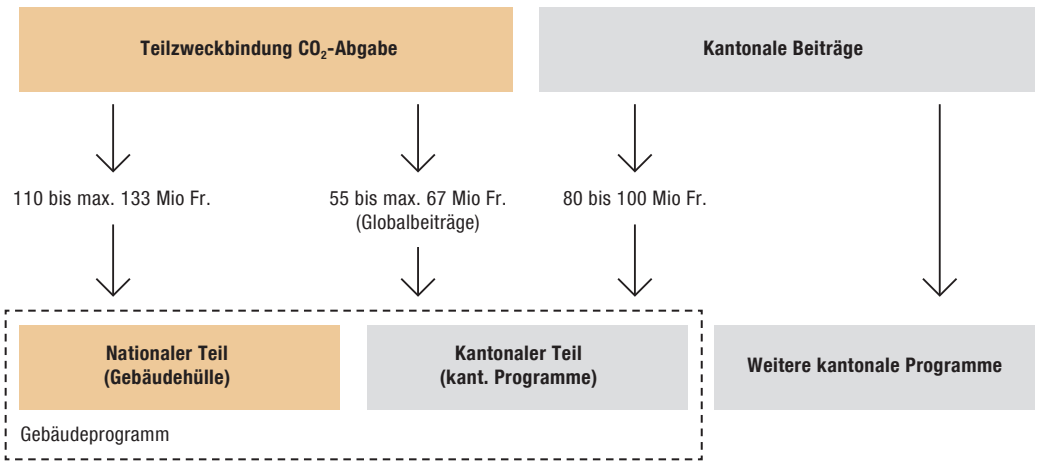
Hinzu kommen weitere kantonale Programme im Energiebereich: Förderung von zusätzlichen Gebäudemassnahmen, Photovoltaik, Angebot an Energieberatungen usw.

Finanzierung der Förderprogramme (Abbildung 64): Die rechtliche Grundlage auf Bundesebene für das Gebäudeprogramm ist das CO_2-Gesetz. Darin ist festgehalten, dass über 10 Jahre ein Drittel des Ertrages aus der CO_2-Abgabe auf Brennstoffe, maximal aber 200 Millionen Franken pro Jahr, für die Förderung von Massnahmen zur Verminderung der CO_2-Emissionen bei Gebäuden verwendet wird (Teilzweckbindung CO_2-Abgabe). Das Parlament hat den Plafond im Rahmen der Revision des CO_2-Gesetzes für die Jahre nach 2012 von 200 auf 300 Millionen Franken pro Jahr erhöht.

Für den nationalen Teil stehen mindestens zwei Drittel des zweckgebundenen Abgabeertrages pro Jahr zur Verfügung (110 bis max. 133 Millionen Franken). Maximal ein Drittel wird den kantonalen Budgets in Form von Globalbeiträgen überwiesen (55 bis max. 67 Millionen Franken). Die Höhe pro Kanton richtet sich nach der Höhe des kantonalen Kre-

Abb. 64 > Übersicht CO_2-wirksame Förderprogramme und Finanzflüsse im Gebäudebereich

Die Darstellung zeigt die Förderstruktur der Schweiz im Gebäudebereich und Richtwerte der Finanzflüsse. Die tatsächlich zur Verfügung stehenden Mittel variieren aufgrund der Einnahmen der CO_2-Abgabe und der kantonalen Budgetposten für Förderprogramme im Gebäudebereich.



Quelle: Das Gebäudeprogramm (2011)

dits und der Wirksamkeit des kantonalen Förderprogramms. Um Globalbeiträge zu erhalten, muss der Kanton mindestens ebenso viele eigene Mittel für das Förderprogramm zur Verfügung stellen. In diesen Teil des Gebäudeprogramms fliessen deshalb zusätzlich rund 80 bis 100 Millionen Franken aus den kantonalen Budgets.

Im Rahmen von weiteren kantonalen Programmen, die nicht Teil des Gebäudeprogramms sind, stehen zusätzliche Mittel für energie- und CO_2-reduzierende Massnahmen zur Verfügung. 2011 wurden in diesem Bereich ca. 60 Millionen Franken ausbezahlt.

Insgesamt stehen demnach jährlich ca. 300 bis 400 Millionen Franken zur Förderung von energetischen Massnahmen im Gebäudebereich zur Verfügung.

Wirkung der Förderprogramme: Mit der kantonalen Förderung von Gebäudesanierungen, Holzfeuerungen, Abwärmenutzung, Sonnenkollektoren, MINERGIE-Sanierungen und Neubauten, Wärmepumpen usw. konnten über die Jahre 2001 bis 2011 Massnahmen umgesetzt werden, die über deren Lebensdauer gerechnet rund 14 Millionen Tonnen CO_2 einsparen (Wirkung aller kantonalen Programme).

Die Reduktionswirkung der energetischen Sanierung der Gebäudehüllen, d. h. die Dämmung von Dach, Fassade usw., fällt für die Jahre 2010 und 2011 mit 1,8 Millionen Tonnen CO_2 über die Lebensdauer der Massnahmen gerechnet noch bescheiden aus. Sie wird aber in den verbleibenden acht Jahren des Programms zunehmen (Wirkung des nationales Teil).

Insgesamt konnten demnach in den Jahren 2001 bis 2011 Massnahmen gefördert werden, die über deren gesamte Lebensdauer gerechnet eine Einsparung von 15,9 Millionen Tonnen CO_2 bewirken. Die Abbildung 65 zeigt die Entwicklung der CO_2-Einsparungen über die Jahre. Verantwortlich für die schwankende CO_2-Reduktionsentwicklung in den Jahren 2001 bis 2008 waren in erster Linie die unterschiedlichen Wirkungsfaktoren der im jeweiligen Jahr umgesetzten Massnahmen. Wurden in einem Jahr zum Beispiel viele Holzfeuerungen gefördert, so führte dies zu einem Anstieg der CO_2-Wirkung. Zusätzlich wurde das Berechnungsmodell im Laufe der Jahre verändert, womit unter anderem auch die Abnahme der Wirkungen in den Jahren 2007 und 2008 zu erklären ist. Ein detaillierter Vergleich der Jahreswerte ist deshalb nicht möglich. Ab 2009 wurden die Mittel bei den Förderprogrammen im Gebäudebereich stark erhöht und 2010 das oben erwähnte Gebäudeprogramm eingeführt. Die CO_2-Reduktionswirkung der Förderprogramme im Gebäudebereich dürfte in den folgenden Jahren weiter zunehmen.

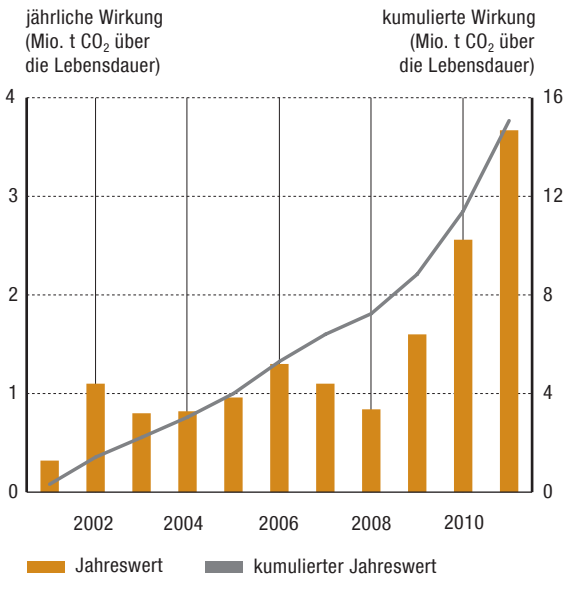
Weitere Massnahmen: Zusätzlich zur finanziellen Förderung tragen weitere Massnahmen zur Reduktion von CO_2-Emissionen und zum Energieverbrauch im Gebäudesektor bei. Dazu gehören in erster Linie die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn), welche die gesetzlichen Rahmenbedingungen der kantonalen Energiegesetzgebung definieren und teilweise verbindliche Verbrauchskennzahlen im Gebäudebereich vorgeben. Indirekte Massnahmen wie Labels (MINERGIE, Energiestadt usw.), Normen (SIA-Vorschriften), Ausbildung und kommunikative Massnahmen unterstützen die direkten Massnahmen in ihrer Wirkung. Im Rahmen der Raumplanung sowie des Miet- und Steuerrechts werden zusätzliche Anreize für einen sparsamen Umgang mit Energie gesetzt.

3.5.5 Die Entwicklung der neuen erneuerbaren Energien

Angesichts der vorteilhaften Topografie und beträchtlicher Wasserressourcen hat die Wasserkraft in der Schweiz traditionellerweise eine grosse Bedeutung Aus diesem Grund weist die Schweiz im europäischen Vergleich einen hohen Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch (und insbesondere an der Stromproduktion) aus. Die Schweizer Strategie für nachhaltige Entwicklung nennt die nachhaltige und klimaschonende Energieversorgung als Schlüsselherausforderung. Entsprechend soll die Energieeffizienz gesteigert und die Verwendung erneuerbarer Energien gefördert werden. Das Programm EnergieSchweiz, das 2001 als Nachfolgeprogramm von Energie2000 lanciert wurde, verfolgt unter anderem das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien bei

Abb. 65 > CO_2-Einsparungen der Förderprogramme im Gebäudebereich

Die Entwicklung der CO_2-Einsparungen aus Förderprogrammen im Gebäudebereich über die Jahre 2001 bis 2011 (kumulierte Wirkung über die Lebensdauer des Gebäudes).



Quelle: BFE (2012b)

der Strom- und bei der Wärmeproduktion zu steigern. Dabei sollen insbesondere neue erneuerbare Energiequellen (z. B. Sonnenenergie) berücksichtigt werden. Da die Preise für die konventionellen Energieträger künftig weiter steigen werden, wird sich die Konkurrenzfähigkeit der erneuerbaren Energien verbessern.

Im Jahr 2010 stammen fast 19.5 % des Gesamtenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen. Mit 12,2 % leistet die Wasserkraft den grössten Beitrag, gefolgt von Biomasse (Holz und Biogas 4,3 %), erneuerbaren Anteilen aus Abfall (1,2 %) und Umweltwärme (1,2 %). Weitere erneuerbare Energiequellen, wie zum Beispiel die Nutzung von Sonnen- oder Windenergie, machen gegenwärtig nur einen geringen Prozentsatz des totalen Energieverbrauchs aus. Seit 1990 ist bei den neuen erneuerbaren Energien (Sonnen-, Windenergie, Biomasse, erneuerbarer Anteil am Abfall, Fernwärmenutzung und Umweltwärme) aber eine positive Entwicklung deutlich erkennbar. Die erneuerbare Stromproduktion (ohne Wasserkraft) hat sich seit 1990 mehr als verdreifacht, und die produzierte erneuerbare Wärme hat sich verdoppelt.

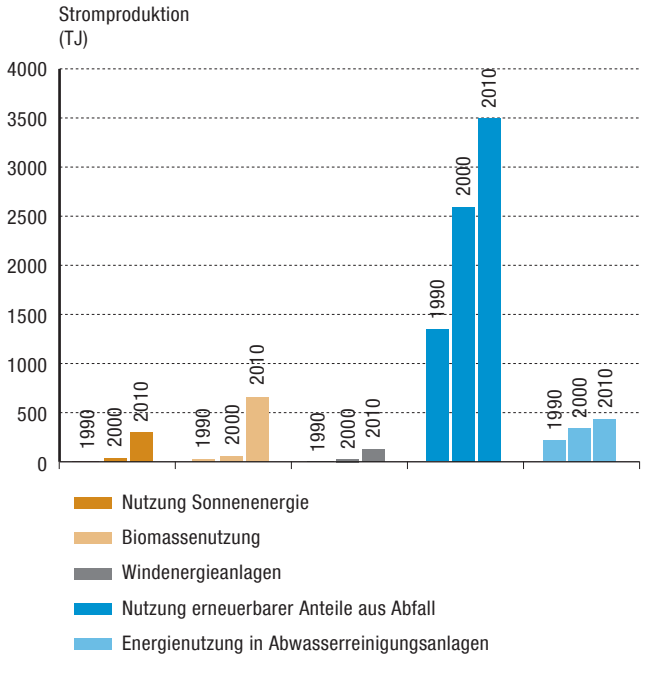
Aus Abbildung 66 ist ersichtlich, dass bei der erneuerbaren Stromproduktion (ohne Wasserkraft) der grösste Teil (und absolute Zuwachs) aus den erneuerbaren Anteilen des Abfalls stammt. Dies ist mit Erweiterungen und Sanierungen vieler Kehrichtverbrennungsanlagen aus abfallpolitischen und lufthygienischen Gründen zu erklären. Zu den erneuerbaren Anteilen aus Abfällen gehören diejenigen aus Kehrichtverbrennungsanlagen, Feuerungen für erneuerbare Abfälle, Deponiegas- und Biogasanlagen.

Die tatsächlich gewonnene erneuerbare Energie aus Abwasser, worunter man Klär- und Biogas aus kommunalen und industriellen Kläranlagen versteht, hat sich mehr als verdoppelt. Die aus Biomasse gewonnene Energie hat seit 1990 ebenfalls stark zugenommen, vor allem im Bereich Stromproduktion, die um das 25-Fache erhöht wurde. Zur Biomasse werden automatische Feuerungen mit Holz, Feuerungen mit Holzanteilen und Biogasanlagen in der Landwirtschaft gezählt. Windenergie und Sonnenenergie waren 1990 erst sehr spärlich vorhanden. 2010 betrug der Anteil der Windenergie 2,6 % und der Sonnenenergie 6 % an der neuen erneuerbaren Stromproduktion, was im Vergleich zum Jahr 1990 eine enorme Zunahme darstellt.

Nicht nur die Stromproduktion, sondern auch die Wärmeproduktion stieg in allen Bereichen der neuen erneuerbaren

Abb. 66 > Netto-Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energien

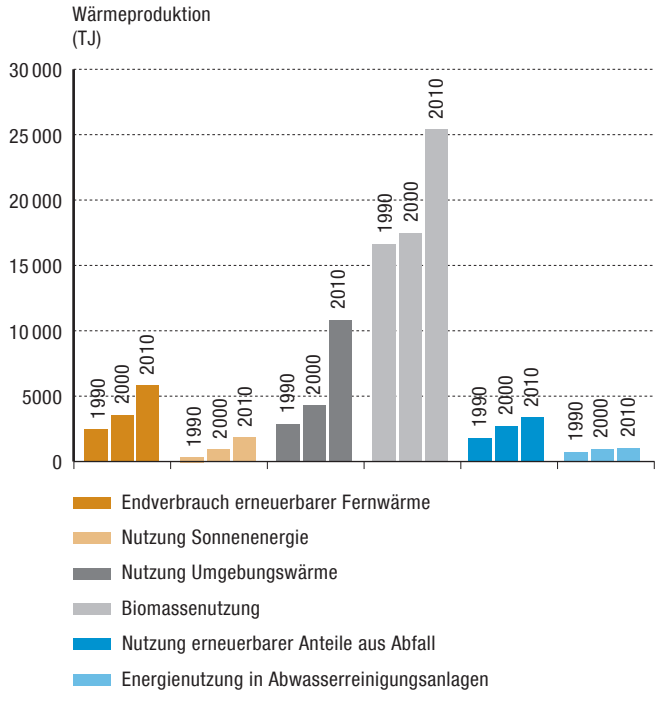
Entwicklung der nationalen Produktion 1990–2010.



Quelle: BFE (2011b)

Abb. 67 > Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energien

Entwicklung der nationalen Produktion 1990–2010.



Quelle: BFE (2011b)

Energien an (Abbildung 67). Die genutzte Wärme aus Sonnenenergie erfuhr mit einer Verdreifachung die höchste relative Zunahme. In absoluten Zahlen stieg jedoch die genutzte jährliche Energiemenge in der Biomassen- und der Umweltwärmenutzung am deutlichsten, wobei in beiden Bereichen seit 2005 ein besonders starkes Wachstum feststellbar ist.

3.6 Übersicht über die Massnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung

Da sich der Anstieg der Temperaturen und die Veränderungen des Niederschlagsregimes bestenfalls noch begrenzen lassen, wird die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels auch in der Schweiz immer wichtiger. Aus diesem Grund setzt der Bundesrat mit einer Anpassungsstrategie den Rahmen für das koordinierte Vorgehen auf Bundesebene. Die Anpassungsstrategie besteht aus zwei Teilen: Der erste, am 2. März 2012 beschlossene Teil beinhaltet Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder bei der Anpassung an den Klimawandel (BAFU 2012). Darauf aufbauend werden im zweiten Teil bis Ende 2013 konkrete Anpassungsmassnahmen in einem Aktionsplan zusammenfassend dargestellt und koordiniert. Die Strategie widmet sich der Anpassung auf Bundesebene und konzentriert sich auf die am meisten betroffenen Sektoren: Wasser-, Land- und Waldwirtschaft, Umgang mit Naturgefahren, Energie, Tourismus, Biodiversitätsmanagement, Gesundheit und Raumentwicklung.

Gewisse Antworten auf den Klimawandel sind nicht nur sehr kostspielig, sie erhöhen gleichzeitig den Druck auf natürliche Ressourcen. So kann auch in der Schweiz Wasser regional und zeitlich begrenzt zu einem knappen Gut werden, wenn sich abnehmende Niederschläge und höherer Verbrauch überlagern. Wenn zudem mit bestimmten Reaktionen – wie zum Beispiel der Erschliessung höher gelegener Skigebiete oder dem vermehrten Einsatz von Klimaanlagen in den Städten – ein höherer Energieverbrauch und zusätzliche Treibhausgasemissionen einhergehen, kann es gar zu einer Verschärfung der Problemursachen kommen. Aus diesem Grund muss der Umgang mit den Folgen des Klimawandels stets kritisch im Hinblick auf Fehlanpassungen hinterfragt werden. Zudem sind eine Koordination der Anpassung zwischen den Sektoren und die Abstimmung mit anderen Politikbereichen sehr wichtig.

3.6.1 Anpassung an extreme Naturereignisse

Die Schweiz ist in regelmässigen Abständen mit Naturgefahren wie Hochwasser, Murgängen, Erdrutschen, Felsstürzen, Lawinen und Stürmen konfrontiert. Diese Ereignisse sind in der Regel auf extreme Witterungsverhältnisse zurückzuführen. Sie verursachen Personen-, Güter- und Umweltschäden, deren Kosten oft Millionenhöhe erreichen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es derzeit nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und der Häufigkeit von Naturkatastrophen herzustellen, insbesondere weil sehr seltene Ereignisse naturgemäss nur über einen sehr langen Zeitraum beobachtet werden können. Dennoch ist seit einigen Jahrzehnten ein regelmässigeres Auftreten gewisser Ereignisse feststellbar (BAFU 2007). Im Laufe der letzten 200 Jahre wurden insgesamt 16 bedeutende Hochwasser registriert, sieben davon seit den 1970er-Jahren.

Um Schäden aus Naturereignissen zu verringern, hat der Bund sein Konzept im Hinblick auf Naturgefahren vor einigen Jahren geändert (BAFU 2007). Standen früher die Gefahrenabwehr und der Umgang mit den Ereignissen im Vordergrund, wird heute zunehmend ein integrales Risikomanagement verfolgt. So legen heute auch die Kantone vermehrt Gefahrenkarten[36] der von Hochwasser, Lawinen, Rutschungen oder Steinschlag bedrohten Siedlungsgebiete an, welche die Gefahrenkartierung der Schweizer Landesfläche ergänzen. Diese Gefahrenkarten dienen als Grundlage für die Nutzungsplanung, die Definition von technischen und organisatorischen Massnahmen, die Notfallplanung und die Sensibilisierung der Bevölkerung. Ihre Qualität und ihren Nutzen haben die Gefahrenkarten anlässlich der Unwetterkatastrophe vom August 2005 unter Beweis gestellt, die mit Schäden in Höhe von 3 Milliarden Franken als das bislang verheerendste Naturereignis in die Geschichte der Schweiz einging. Trotz hoher Unsicherheiten bei der Einschätzung von seltenen Naturereignissen wurden die gefährdeten Gebiete (z. B. Wohnzonen, Industriegebiete, Strassen, etc.) zuverlässig erkannt, wie die Vergleiche der Gefahrenkarten und der Auswirkungen der Unwetterkatastrophen deutlich zeigen. Auch die auf der Grundlage von Gefahrenkarten geplanten und umgesetzten integralen Hochwasserschutzprojekte haben sich bewährt: In den Kantonen Nidwalden (Stanserboden) und Obwalden (Sachseln) konnten beispielsweise grössere Schäden verhindert werden (Schweizer Gemeinde 2006). Das Wissen um Risiken war mitunter lebensrettend. In Weggis war die Rutschgefahr bekannt. Vorsorglich wurden mehrere Häuser evakuiert. Kurze Zeit später rutschte der Hang ab. Drei Häuser wurden zerstört, aber es kamen keine Menschen ums Leben oder zu Schaden.

Die Entwicklung der Kosten, die aus Naturereignissen entstehen, kann als Indikator für die Wirksamkeit der Schutzmassnahmen gegen Naturereignisse herangezogen werden. Sieht man vom Hochwasser vom August 2005 ab, welches das, wie bereits erwähnt, bislang teuerste Naturereignis der Schweiz war, ist kein Anstieg der durch Extremereignisse verursachten Schadensumme feststellbar (Abbildung 68). Die von 1972 bis 2011 verzeichneten Unwetter verursachten Schäden in Höhe von 13,6 Milliarden Franken, während sich der Betrag für Schäden aus Erdrutschen und Sturzprozessen auf nur 0,9 Milliarden Franken belief. Der seit 1970 feststellbare Anstieg der kumulierten Schadenkosten korreliert bei Weitem nicht mit der Zunahme der Bevölkerung, der überbauten Flächen und der Sachgüterdichte, d. h., es entstehen weit weniger Kosten aus extremen Naturereignissen, als man angesichts der Entwicklung der Sachgüter annehmen könnte. Dieser erfreuliche Tatbestand lässt sich zumindest teilweise

auf die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmassnahmen zurückführen (BAFU/WSL 2007).

Will man künftig Schäden aus Extremereignissen verhindern oder begrenzen, so sind primär raumplanerische Massnahmen zu treffen. In diesem Zusammenhang kommt der Umsetzung der Gefahrenkarten in der Nutzungsplanung der Gemeinden eine vorrangige Bedeutung zu. Gefährdete Räume sind wenn immer möglich zu meiden. Ist dies nicht machbar, so ist mit vorbeugenden Massnahmen (z. B. Objektschutz) sicherzustellen, dass bei einem besonderen Ereignis möglichst kein Schaden auftritt. In bestehenden Siedlungsgebieten können die Risiken nicht allein durch raumplanerische Massnahmen genügend reduziert werden. In vielen Fällen werden technische Schutzmassnahmen unumgänglich sein. Ein absoluter Schutz vor Naturgefahren lässt sich allerdings nicht gewährleisten. Es wird immer Ereignisse geben, die die bei der Dimensionierung der Schutzbauten antizipierten Werte übersteigen (Überlastfall). Mit geeigneten organisatorischen Massnahmen können jedoch die Restrisiken weiter reduziert und der Schutz der Bevölkerung erhöht werden. Sie beinhalten Vorhersage, Warnung, Alarmierung, Sperrung betroffener Gebiete, Evakuierung betroffener Personen wie auch die Betreuung von Opfern. Das Projekt OWARNA (Optimierung von Warnung und Alarmierung vor Naturgefahren) wurde in diesem Sinne nach den Unwettern 2005 erarbeitet und ist seit Anfang 2011 operationell.

3.6.2 Einsatz von Beschneiungsanlagen in Skigebieten

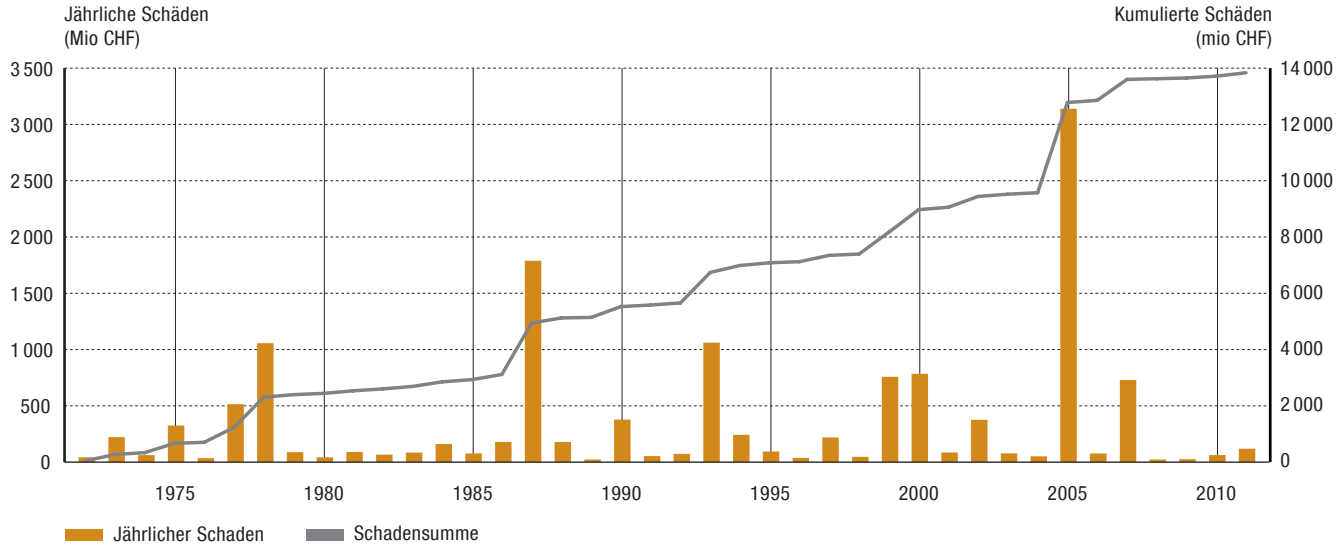
Die Anzahl der Beschneiungsanlagen ist ein Zeichen für die Anpassung der Tourismusbranche an die abnehmende Schneesicherheit im Alpenraum. Diese Anlagen sind nicht nur für die Aufrechterhaltung eines hochqualitativen und wettbewerbsfähigen Wintersportangebots, sondern auch für die lokale wirtschaftliche Sicherheit unverzichtbar (WSL 2012).

Die Auswirkungen dieser Anlagen auf die Umwelt sind jedoch nicht zu vernachlässigen. Die Produktion einer 20 cm dicken Schneeschicht auf einer Fläche von einer Hektare (100 × 100 m) erfordert ca. 800 Tonnen Wasser und sehr viel Energie (ca. 2,8 kWh pro m² beschneite Fläche). Um der Wasserknappheit vorzubeugen, bauen viele Wintersportorte eigene Speicheranlagen (Müller und Weber 2007). Damit, sowie mit der Planierung künstlich beschneiter Flächen, können bedeutende Eingriffe in das Landschaftsbild und in die lokale Vegetation verbunden sein. Die künstliche Beschneiung einer 1 km langen Piste kostet pro Skisaison rund 1 Million Franken (SBS 2010).

2010 wurden in der Schweiz rund 79,2 km² Piste künstlich beschneit. Diese Fläche entspricht 36 % aller Pisten, die für den Skisport präpariert werden (Abbildung 69). Prozentual werden in der Schweiz deutlich weniger Pisten künstlich beschneit als in Österreich oder Italien. Hohe finanzielle Investitionen in Beschneiungsanlagen (geschätzte 80 Millionen Franken pro Jahr) haben seit 2003 zu einer Verdreifachung

Abb. 68 > Schäden aus Naturereignissen

Jährliche Schadensummen und kumulierte Beträge (teuerungsbereinigt, in Franken, 2011) aus Schäden als Folge von Hochwasser, Murgängen, Rutschungen und, seit 2002, Steinschlag sowie Fels- und Bergsturz 1972–2011.



Quelle: BAFU und WSL (2012)

der beschneiten Flächen geführt. Angesichts der eingesetzten Wassermengen ist der Einfluss der künstlichen Beschneiung auf das Ablussregime der Gewässer und die landesweite Wasserverfügbarkeit vernachlässigbar. Allerdings ist die Wasserführung der Bäche im Winter normalerweise geringer, so dass lokal die entnommene Wassermenge in denjenigen Regionen, die keine Wasserreservoirs anlegen können, bedeutend ist. Bei sehr geringen Schneefällen kann selbst die künstliche Beschneiung dem Schneemangel nicht abhelfen. Im Winter 2006/2007, der als der mildeste Winter seit Beginn der Messungen im Jahr 1864 gilt, war die Anzahl der Wochen, an denen die Skigebiete geöffnet waren, unabhängig von ihrer Höhenlage niedriger als in anderen Jahren (Abbildung 70). Da die Erzeugung von Kunstschnee Temperaturen unter dem Gefrierpunkt voraussetzt, bietet sich die Beschneiung vor allem für höhere Lagen an. Die schwankende Anzahl der Wochen, an denen Skigebiete in niedrigen Lagen geöffnet sind (Abbildung 70), zeigt die Grenzen der künstlichen Beschneiungsanlagen auf.

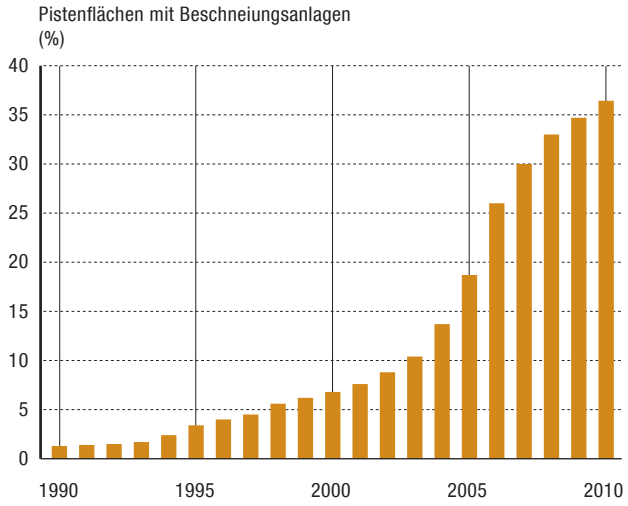
Der Einsatz von Beschneiungsanlagen ist erforderlich, um in schneearmen Wintern den Betrieb eines Skigebiets zu gewährleisten. Die Schneesicherheit ist für viele Touristen ein wichtiges Kriterium bei der Wahl des Wintersportgebiets (Swissinfo 2007). Damit sich auch bei schlechteren Schneeverhältnissen eine hohe touristische Nachfrage erhalten lässt, wird das Angebot an Aktivitäten im Freien diversifiziert. Man beobachtet heute bereits eine Zunahme der Anzahl von Nicht-Skitouristen (SBS 2010). Einige Regionen weisen ein hohes Wachstumspotenzial bei den Sommerfreizeitaktivitäten auf. Rückläufige Einnahmen als Folge sinkender Schneefälle können hier wohl durch Einnahmen im Sommer teilweise ausgeglichen werden.

3.6.3 Bewässerte landwirtschafliche Nutzfläche

Die mit dem Klimawandel verbundenen Hitze- und Trockenperioden dürften in Zukunft zumindest zeitweise zu einer örtlich beschränkten Verfügbarkeit von Wasser führen (OcCC/ProClim- 2007). In den Sommermonaten ist deshalb vermehrt mit Auseinandersetzungen um diese knappe Ressource zu rechnen. Neben Landwirten, die ihre Felder bewässern, sind auch die Schifffahrt, der Gewässerschutz, die Elektrizitätswerke sowie die flussabwärts gelegenen Länder an einem ausreichenden Wasserstand in den Flüssen interessiert.

Abb. 69 > Prozentualer Anteil beschneiter Pisten

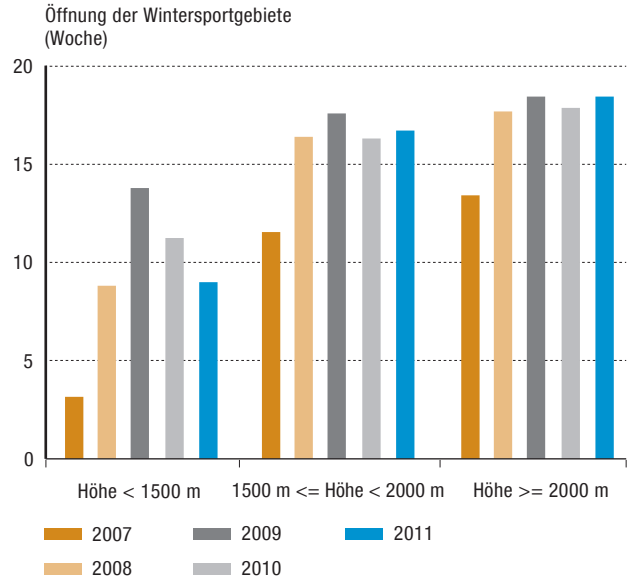
Beschneibare Pistenflächen in Prozenten der Gesamtpistenfläche 1990–2010.



Quelle: Seilbahnen Schweiz (2010)

Abb. 70 > Anzahl geöffneter Wochen von Skigebieten

124 Skigebiete wurden je nach Höhenlage ihres Schwerpunkts in drei Gruppen eingeteilt. Die Öffnungszeit der Skisportanlagen der Orte jeder der Gruppen wurde jährlich gemittelt.



Quelle: Vanat (2011)

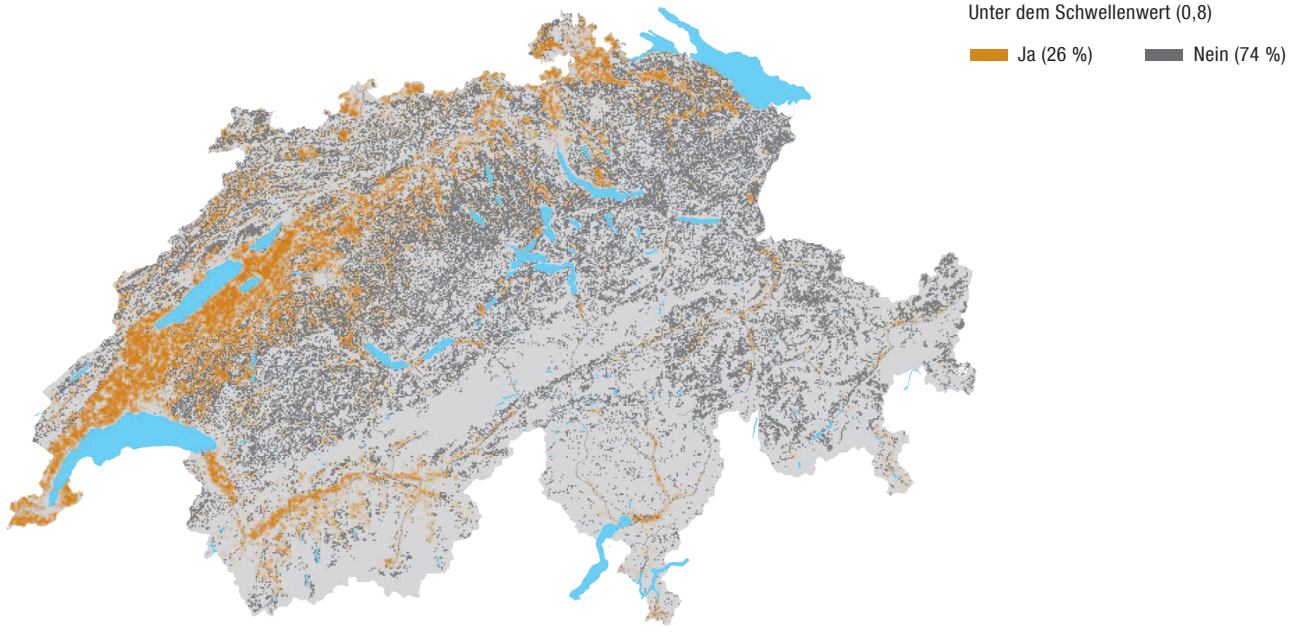
Im Jahr 2006 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) bei den kantonalen Fachstellen eine Umfrage über die Bewässerung in der schweizerischen Landwirtschaft durchgeführt (bewässerte Flächen und Kulturen, Wasserverbrauch usw., Weber und Schild 2007). Gestützt auf die Umfrageergebnisse geht das BWL davon aus, dass eine Fläche von rund 43 000 ha bewässert wird. Den grössten Teil (18 000 ha) machen die Wiesen aus. In trockenen Jahren kommen zusätzliche 12 000 ha bewässerte Fläche dazu, womit die zur Bewässerung benötigte Wassermenge auf 144 Millionen m^3 steigt (BLW 2008). Gemäss Schätzungen des BLW werden in den kommenden Jahren bis zu 170 Millionen m^3 Wasser jährlich benötigt (Schild 2008). Nachdem der Bund 20 Jahre lang ausschliesslich Bewässerungsprojekte in den inneralpinen Trockentälern des Wallis und Südbündens subventioniert hatte, werden seit 2005 auch Beregnungsanlagen in der übrigen Schweiz, insbesondere im sogenannten mittelländischen Trockengürtel, durch Bundesgelder mitfinanziert. Investitionen in Bewässerungssysteme betragen ca. 10 000 bis 20 000 Franken pro ha. Sie umfassen die Kosten für die Wasserbeschaffung (Entnahme und Speicherung) und Grobverteilung zu den Parzellen. Zwischen 2005 und 2011 unterstützte der Bund über 20 Bewässerungsprojekte im Mittelland, die insgesamt rund 7,6 Millionen Franken kosteten. In diese sind öffentliche Beiträge in der Grössenordnung von 50 % geflossen. Zurzeit lässt sich keine Zunahme der Gesuche aus den verschiedenen Gebieten des Mittellandes feststellen. Die Zahl bzw. die Fläche der nicht vom Bund unterstützten Bewässerungsanlagen ist nur abschätzbar, umfasst aber den grösseren Teil der bewässerten Flächen im Mittelland (Schild, persönliche Mitteilung).

Dank der Bewässerung können die Ernteerträge der Regionen, die am stärksten vom Wassermangel betroffen sind, heute noch gesichert werden. In der Schweiz müsste jedoch eine weitaus grössere Fläche bewässert werden. Einer Untersuchung von Fuhrer und Jasper (2009) zufolge werden auf rund 400 000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche mindestens einmal in drei Jahren Ertragsausfälle verzeichnet (Abbildung 71). Die bewässerungsbedürftigen Regionen wurden anhand des Verhältnisses von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration sowie aufgrund der Witterungsverhältnisse und des im Boden verfügbaren Wassers in den Vegetationsperioden der Jahre 1980–2006 bestimmt.

Der Bund wird weiterhin die Gesuche zur Unterstützung von Bewässerungsanlagen zurückhaltend und nach strengen

Abb. 71 > Potenziell von Trockenheit betroffene landwirtschaftliche Nutzfläche

Landwirtschaftliche Nutzflächen der Schweiz, die einmal in drei Jahren Ertragseinbussen erleiden können (d. h., wo das Verhältnis von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration mindestens einmal in drei Jahren den Wert von 0,8 unterschreitet). Berechnung für die Vegetationsperioden im Zeitraum 1980–2006 im 500 × 500-Meter-Raster.



Quelle: Fuhrer und Jasper (2009)

Kriterien beurteilen. Dabei stützt er sich auf die neusten wissenschaftlichen Grundlagen ab. Neben der klimatologisch begründeten Bewässerungsbedürftigkeit müssen die Bewässerungswürdigkeit (agronomische und pedologische Aspekte) sowie die Machbarkeit (ökologische und technische Aspekte) ausgewiesen sein. Der Einsatz von ressourcenschonenden Technologien wird gefördert.

Mit der Beantwortung des Postulates Walter 10.3533 «Wasser und Landwirtschaft» legt der Bundesrat zudem einen Bericht vor (BAFU 2012i), der aufzeigt, wie mit kurzfristigen Ereignissen von lokalem, vorübergehendem Wassermangel als auch der langfristigen Perspektive einer generellen Wasserverknappung infolge des Klimawandels umgegangen werden kann. Das Postulat fordert eine Strategie aus der Sicht aller Nutzungen und Spielregeln im Umgang mit Konflikten zwischen Nutzung und Schutz. Im Zentrum der Massnahmen stehen Instrumente der Bewirtschaftung der Wasserressourcen und der dazugehörenden Infrastrukturen.

3.6.4 Gewässerbewirtschaftung

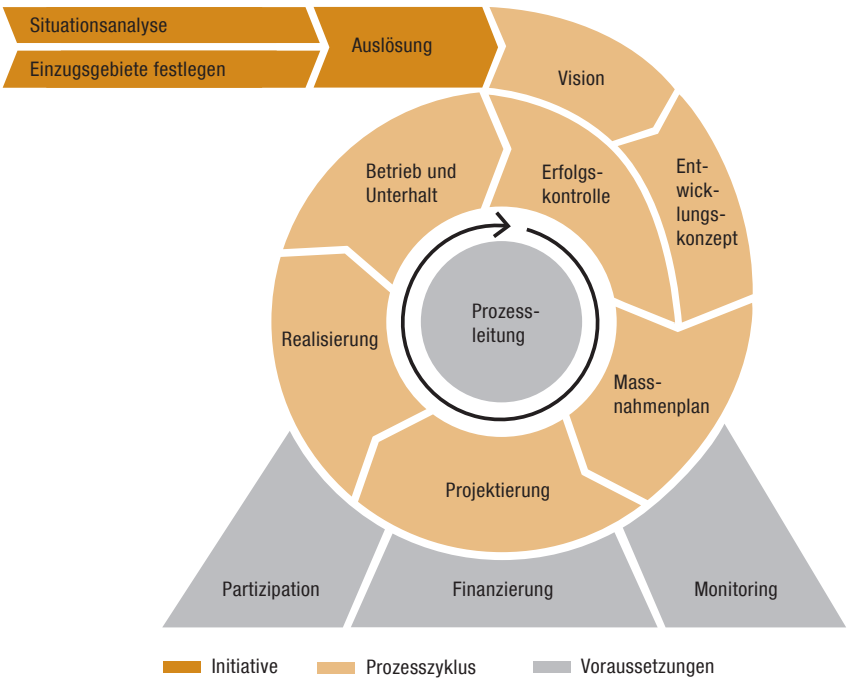
Die Gewässer (Flüsse, Bäche, Seen, Grundwasser) stehen zunehmend verschiedensten Interessen und Erwartungen unterschiedlicher Anspruchsgruppen gegenüber. Diese streben an:

> das Wasser und die Gewässer vor Beeinträchtigungen für Tiere, Pflanzen, Ökosysteme, Landschaften und letztlich auch die menschliche Gesundheit zu schützen
> den Schutz vor den Gefahren des Wassers, insbesondere des Hochwassers, sicherzustellen
> das Wasser und die Gewässer für unterschiedliche Zwecke zu nutzen, namentlich als Trink-, Brauch- und Löschwasser, für die Nahrungsmittelproduktion, für die Energiegewinnung, für die Kühlung, für die Schifffahrt sowie im Tourismus für Erholung und Beschneiung.

Diese Ansprüche können zu Interessenkonflikten führen, sei es zwischen Schutz und Nutzung oder zwischen verschiedenen Nutzungen. Grundsätzlich lassen sich diese Konflikte nicht auf einfache Art lösen, aber durch geeignete Verfahren (transparente und partizipative Interessensabwägung, strategische Planung, räumliche Schwerpunktbildung) mindern und bei einer regionalen Betrachtung in Einzugsgebieten ausgleichen.

Abb. 72 > Der zyklische Prozess des Einzugsgebietsmanagements

Der zyklische Prozess des Einzugsgebietsmanagements setzt eine klar definierte Prozessleitung, eine geregelte Finanzierung, ein partizipatives Vorgehen und das kontinuierliche Monitoring des Gewässer systems voraus.



Quelle: Wasser-Agenda 21 (2011)

In der Bewirtschaftung der Gewässer, Wasserressourcen und der dazugehörenden Infrastrukturen im Einzugsgebiet liegt der Schlüssel um die zukünftigen Herausforderungen zu meistern. Die 2011 erschienene Publikation «Einzugsgebietsmanagement – Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz» stellt die Grundsätze des Einzugsgebietsmanagements vor (Wasser-Agenda 21 2011). Bewirtschaftung wird verstanden als mehrjähriger zyklischer Prozess, der sich an langfristigen Entwicklungszielen orientiert und Planungs-, Umsetzungs- und Überwachungsprozesse umfasst. In der Anpassungsstrategie des Bundesrates an den Klimawandel wird in der Teilstrategie Wasserwirtschaft, das angebotsorientierte Wassermanagement als eine der Voraussetzungen erwähnt, um die formulierten Ziele zu erreichen (BAFU 2012g).

3.6.5 Anpassung der Waldbewirtschaftung

Die Schweiz ist heute zu knapp einem Drittel bewaldet. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ist die Fichte hierzulande besonders in tieferen Lagen weit verbreitet. Fichten und Tannen, die rund 45 % der Bäume im Schweizer Mittelland ausmachen, reagieren sensibel auf erhöhte Temperaturen (Fichte) bzw. auf zunehmende Trockenheit (Tanne und Fichte). Gewisse Eichen- und Ahornarten beispielsweise ertragen wärmere und trockenere Bedingungen.

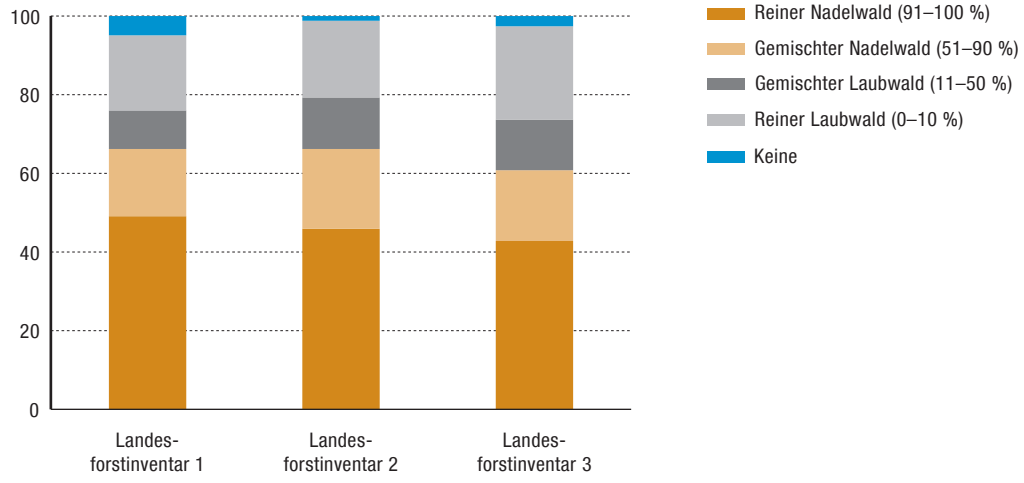
Ein naturnaher Mischwald mit einem hohen Anteil an einheimischen Laubhölzern ist deshalb besser an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst als reine oder gemischte Nadelwälder. Eine Auswertung der drei Landesforstinventare (LFI)[37] zeigt, dass der Anteil der Laubmischwälder und der reinen Laubwälder steigt und der Anteil reiner Nadelwälder sinkt (Abbildung 73, EAFV und BFL 1988, Brassel und Brändli 1999, Brändli 2010). Dies ist unter Berücksichtigung ökologischer Kriterien geschehen (Rückführung hin zu mehr oder weniger naturnahen Baummischungen im Mittelland). Die Tendenz zu einer Abnahme der Nadelwälder im Mittelland dürfte sich inzwischen fortgesetzt haben.

Die Nutzung der Wälder wird in Zukunft vermehrt veränderte Klimaparameter berücksichtigen müssen. Regionale Beispiele weisen bereits auf erste Anpassungsvorgänge hin.

> Der Einfluss des Klimas hat sich in den vergangenen Jahren in den Sturmschäden und in hohen Borkenkäferschäden manifestiert. Die Untersuchung der Schäden des Sturms Lothar kommt zum Schluss, dass an den

Abb. 73 > Waldfläche nach Mischungsgrad

Laub- und Nadelwaldanteile in % der Waldfläche der drei Landesforstinventare (LFI) 1, 2 und 3 (1983–1985, 1993–1995 und 2004–2006).



Quellen: Brassel und Brändli 1999, Brändli 2010, EAFV und BFL (1988).

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 darüber, wie die Wälder an die Veränderung des Klimas anzupassen sind. Im Forstbetrieb der Stadt Baden zum Beispiel sollen die Eichen gefördert und der Anteil gefährdeter Bäume, vor allem Fichten, reduziert werden. So können Wälder entstehen, in denen standortgerechte Arten nicht von Exoten verdrängt werden, die besser an den Klimawandel angepasst sind (Stadt Baden 2005). Andernorts passiert genau das Gegenteil: Dort wird die vermehrte Pflanzung von Douglasien in Betracht gezogen, einer nordamerikanischen Nadelbaumart, die immerhin schon seit mehr als 100 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. Anstelle 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 dort typischen Arven- und Lärchenwälder könnten gefährdet sein. Insbesondere wird ein vermehrtes Auftreten von Waldbränden befürchtet.

4 > Fazit

Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie sich die anthropogenen Aktivitäten in der Schweiz entwickelt haben und welche Mengen an Treibhausgasen daraus entstanden sind. Er illustriert anhand einer Fülle von Beispielen, wie sich die bisher zu beobachtende Klimaänderung auf den Zustand der natürlichen Umwelt in der Schweiz auswirkt. Die Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft sind ebenfalls erkennbar, können jedoch bis heute erst bezüglich Auswirkungen auf Gesundheit und Heizbedarf fundiert belegt werden. So ist es heute noch nicht möglich, die Auswirkungen des Klimas auf den Winter- und Sommertourismus oder auf die Ernteerträge zu beziffern. Auch die möglichen Folgen der Veränderung der natürlichen Gewässerabflüsse auf die Energiegewinnung lassen sich noch nicht bestimmen. Im Gegenzug kann dank dem nationalen Inventar der Treibhausgasemissionen die Wirksamkeit der landesweit getroffenen Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen ermittelt werden. Für die Evaluation der Massnahmen zur Anpassung der Gesellschaft an den Klimawandel liegen zwar Studien vor, aber bislang kein systematisches Überwachungssystem. Die Auswertung der Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen dürfte – mit der Umsetzung der Strategie des Bundesrates zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels – neue Indikatoren hervorbringen und die Richtung für weitere Massnahmen vorgeben.

Dieser Bericht zeigt, dass die Grundlagen für die Dokumentation der verschiedenen Elemente der Kausalkette von den Emissionen der Treibhausgase als Ursache bis hin zu den Wirkungen auf Mensch und Ökosysteme und den ergriffenen Massnahmen noch sehr heterogen sind. Es werden detaillierte Daten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen erhoben, und es besteht ein dichtes Messnetz, um meteorologische, klimatologische und hydrologische Daten zu sammeln. Auch für die Wirkung der Klimaänderung auf die Ökosysteme liegen schöne Beispiele vor. Weniger gut dokumentiert sind bisher die Auswirkungen der Klimaänderung auf Gesellschaft und Wirtschaft, was wahrscheinlich in gewissen methodischen Problemen begründet ist. Aber auch die zeitliche Verschiebung zwischen den Ursachen und den Auswirkungen der Erwärmung dürfte eine Rolle spielen. Zudem ist diese Situation zum Teil wahrscheinlich auch darauf zurückzuführen, dass der frühzeitigen Aufdeckung von Tendenzen in der Klimapolitik lange Zeit nicht genügend Bedeutung beigemessen wurde. Ohne geeignete Entscheidungsgrundlagen aber können die erforderlichen Massnahmen nicht beurteilt werden. Deshalb gilt es, eine systematische Erfassung der aussagekräftigen Daten in den Bereichen einzuführen bzw. weiter zu entwickeln, in denen es noch wesentliche Mängel gibt.

Die Dokumentation des Umgangs mit den Auswirkungen des Klimawandels steht erst an ihren Anfängen. Leistungsfähige Überwachungssysteme sind für die Beurteilung der Massnahmen, für die Überprüfung ihrer Ergebnisse und für die Vorbeugung unerwünschter Entwicklungen unverzichtbar. Bei der Umsetzung dieser Aufgaben muss die Zusammenarbeit der verschiedenen Dienststellen des Bundes und der Kantone weiter vertieft werden.

Damit Ressourcen effizient genutzt und vergleichbare Daten erhoben werden können, sind die Untersuchungen mit den bestehenden Instrumenten zur Beobachtung der Umwelt auf nationaler und internationaler Ebene zu koordinieren. Die Ergebnisse müssen möglichst vielen potenziellen Benutzerinnen und Benutzern in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zugänglich sein. Deshalb soll die vorliegende Publikation regelmässig unter Berücksichtigung der neusten Daten und neu auftauchender Fragen aktualisiert und in zunehmend umfassender Form veröffentlicht werden. In der Zwischenzeit lässt sich die Entwicklung der wichtigsten Indikatoren auf der Website des BAFU verfolgen, die regelmässig auf den neusten Stand gebracht wird (www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren).

> Fussnoten

1. Die verschiedenen Treibhausgase werden in eine gemeinsame Einheit (CO_2-Äquivalente) umgerechnet. Die Umrechnung berücksichtigt die unterschiedlichen Erwärmungspotentiale der Treibhausgase relativ zum CO_2, dem ein Wert von 1 zugeordnet wird.

2. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt nach dem Absatzprinzip. Im Flugverkehr wird der Treibstoffverbrauch von Inlands- und Auslandsflügen separat bestimmt. Für Kyoto-Protokoll und CO_2-Gesetz sind nur der Inlandsverbrauch massgebend.

3. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt nach dem Absatzprinzip. Im Hinblick auf den Strassenverkehr werden dabei die insgesamt an Schweizer Tankstellen verkauften Benzin- und Dieselmengen berücksichtigt. Da Benzin in der Schweiz billiger ist als in den Nachbarländern, tanken viele Grenzgänger in der Schweiz, was den schweizerischen Absatz erhöht. Bei Dieseltreibstoffen ist die Situation umgekehrt, die Volumen sind jedoch geringer. Insgesamt gesehen ergibt sich ein Treibstoffexport, der im Begriff «Tanktourismus» erfasst wird.

4. Personenwagen, Motorräder, Personentransportfahrzeuge.

5. Gütertransportfahrzeuge, Landwirtschaftsfahrzeuge, Industriefahrzeuge.

6. In der Fahrleistung des privaten Strassenpersonenverkehrs eingeschlossen sind in- und ausländische Personenwagen, Privatcars, Motorräder und Motorfahrräder ohne Kleinbusse und Wohnmobile. Die Fahrleistung des Strassengüterverkehrs umfasst in- und ausländische leichte Güterfahrzeuge (Gesamtgewicht bis maximal 3,5 t) und schwere Güterfahrzeuge ohne Landwirtschaftsfahrzeuge und Industriefahrzeuge.

7. Leistungen des Personenverkehrs und Güterverkehrs: Verkehrsleistungen sind die Summe aller von Personen oder Gütern zurückgelegten Kilometer innerhalb eines Jahres (gemessen in Personen- oder Tonnenkilometern).

8. Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller Geschossflächen, die beheizt oder klimatisiert werden.

9. Für die Berechnung der spezifischen Emissionen werden die CO_2-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe durch die Anzahl der dauernd bewohnten Wohnungen geteilt. Bei der Berechnung der Energiebezugsfläche wird genauso vorgegangen.

10. Die Bruttowertschöpfung ist die aus dem Produktions- und Dienstleistungsprozess hervorgehende Wertschöpfung der Güter und Dienstleistungen abzüglich sämtlicher Vorleistungen.

11. Die Bruttowertschöpfung der Industrie ist berechnet zu konstanten Preisen (2005) für die verarbeitende Industrie (NOGA (2008) Kategorien 5 bis 43)

12. Die Bruttowertschöpfung der Dienstleistungen ist berechnet zu konstanten Preisen (2005) [NOGA (2008) Kategorien 45 bis 98].

13. CH_4-Emissionen aus der enterischen Fermentation pro Rindvieh.

14. CH_4-Emissionen aus der enterischen Fermentation und der Düngerbewirtschaftung der Milchkühe pro kg Milch.

15. Die Werte für 1991–1995 wurden durch lineare Interpolation ermittelt.

16. Die Bruttowertschöpfung der Landwirtschaft ist berechnet zu konstanten Preisen (2005) [NOGA (2008) Kategorien 1 bis 3].

17. Eine verminderte pflanzliche Produktivität verringert den Gehalt an organischem Material im Boden.

18. Durch Verkokung aus Kohle gewonnenes, in den Städten verwendetes Brenngas.

19. Das Bruttoinlandprodukt misst den Wert der im Inland hergestellten Waren und Dienstleistungen, soweit diese nicht als Vorleistungen für die Produktion anderer Waren und Dienstleistungen verwendet werden.

20. Die im Anhang I zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) aufgelisteten Unterzeichnerstaaten (Industrie- und Schwellenländer) sind: Australien, Belarus, Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Grossbritannien und Nordirland, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Kroatien, Lettland, Liechtenstein, Litauen, Luxemburg, Monaco, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Russische Föderation, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ukraine, Ungarn, USA.

21. Bei der Durchmischung eines Sees wird das Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser gemischt. Dieser Prozess findet statt, wenn das Oberflächenwasser eine höhere Dichte aufweist als das Tiefenwasser. Bei einem Fortbestand eines niedrigen Dichtegradienten kann der Wind die Durchmischung begünstigen.

22. Die Massenbilanz von Gletschern wird in Wasseräquivalenten (WE) ausgedrückt. Das Wasseräquivalent gibt in der Masseinheit Millimeter bzw. Meter an, welchen Wassergehalt der geschmolzene oder neu dazugekommene Eiskörper hat (1 mm entspricht 1 l Schmelzwasser pro m^2). 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.

23. Blockgletscher sind eine spezielle Form von Permafrost, d. h. ein loser, kriechfähiger Schuttkörper, dessen Hohlräume mit Eis gefüllt sind.

24. Permafrost mit einer Temperatur von knapp unter 0 °C.

25. 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.

26. Schematisch gesehen verläuft die Nahrungskette folgendermassen: Phytoplankton (Algen und Cyanobakterien), Fische und Zooplankton (z. B. Krebstiere), die das Phytoplankton fressen, und Räuber. Zu Letzteren zählen die Schwimmwelt (Nekton, d. h. Fische, Schildkröten und Wassersäugetiere), die Vögel und der Mensch.

27. Im Durchschnitt existieren in Schweizer Flüssen alle 100 m eine bis zwei Barrieren mit einer Höhe von mindestens 15 cm (Peter 1998).

28. Die Krankheit PKD, die von einem einzelligen Parasiten verursacht wird, ruft hohe Mortalitätsraten bei Forellenfischen hervor. Die heutige Vorkommensgrenze der PKD liegt gegenwärtig unterhalb von rund 800 m ü. M.

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

30. Bei den Klimaszenarien gingen wir von den vom IPCC entwickelten Szenarien A1F1 und B2 aus (IPCC 2000), die für die Schweiz regionalisiert wurden (N. E. Zimmermann, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL). Diese Klimaszenarien wurden kombiniert mit den speziell für die Schweiz entwickelten Landnutzungsszenarien von Bolliger et al. (2007): «Liberalisation» wurde mit A1F1 kombiniert und «starke Verminderung der landwirtschaftlichen Produktion» mit B2. Die Veränderungen in der Verbreitung wurden für diese zwei extremen Szenarien beurteilt.

31. Zwergdommel, Mittelmeermöwe, Turteltaube, Steinkauz, Ziegenmelker, Alpensegler, Eisvogel, Bienenfresser, Wiedehopf, Kleinspecht, Felsenschwalbe, Schafstelze, Nachtigall, Schwarzkehlchen, Blaumerle, Drosselrohrsänger, Orpheusspötter, Pirol, Zaunammer, Zippammer.

32. Haselhuhn, Alpenschneehuhn, Birkhuhn, Auerhuhn, Weissstorch, Kiebitz, Sperlingskauz, Dreizehenspecht, Alpenbraunelle, Steinschmätzer, Ringdrossel, Wacholderdrossel, Rohrschwirl, Tannenhäher, Schneesperling, Zitronengirlitz, Fichtenkreuzschnabel, Gimpel, Rohrammer.

33. Siehe Definition in Kapitel 3.3.3. Zur Sommerperiode zählen die Monate Juni, Juli, August.

34. Mit Antibiotika behandelte Fälle von Lyme-Borreliose und Arztbesuche nach einem erfolgten Zeckenbiss werden im System Sentinella erfasst. Die Angaben zur Zecken-Enzephalitis stammen von medizinischen Labors und von Ärzten.

35. Die Angaben beziehen sich auf die von autoschweiz erfassten Fahrzeuge.

36. Gefahrenkarten enthalten detaillierte Angaben über Ursachen, Ablauf, räumliche Ausdehnung, Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren.

37. Die drei Landesforstinventare zeigen den Stand 1983–1985, 1993–1995 und 2004–2006. Die Erhebungen zum vierten Landesforstinventar liefen von 2009 bis 2011; erste Ergebnisse liegen seit März 2012 vor.

> Literaturverzeichnis

Ambrosetti W., Barbanti L. 1999: Deep water warming in lakes: an indicator of climate change. J. Limnol. 58: 1–9.

Anneville O., Souissi S., Ibanez F., Druart J.-C., Angeli N. 2002: Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: annual and interannual changes in their patterns of succession. Limnol. Oceanogr. 47(5): 1355–1366.

auto-schweiz 2004/2005/2006/2007/2008/2009/2010/2011/2012: Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen 2011. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Bader S. 2004: Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsbericht Nr. 200, MeteoSchweiz Zürich, 23 S.

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

BAFU 2009: Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA) – Zustand und Entwicklung 2004–2006. Umwelt Zustand Nr. 0903, Bundesamt für Umwelt, Bern, 144 S.

BAFU 2010: Switzerland's Fourth National Report under the Convention on Biological Diversity. Bundesamt für Umwelt, Bern, 148 S.

OFEV 2011: Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production. A combination of input–output analysis with life cycle assessment. Environmental studies Nr. 1111, Bundesamt für Umwelt, Bern. (Auf Englisch mit Kurzfassung auf Deutsch).

BAFU 2012a: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen seit 1990. www.bafu.admin.ch/klima/09570/09574/index.html?lang=de

BAFU 2012b: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien.

BAFU 2012c: Auswirkungen der Klimänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Umwelt-Wissen Nr. 1217, Bundesamt für Umwelt, Bern, 76 S.

BAFU 2012d: Daten bereitgestellt durch Abteilung Hydrologie.

BAFU 2012e: Spuren des Klimawandels in der Vegetation? BDM Facts 4. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2012f: Statistik: Angelfischerei. www.bafu.admin.ch/jagd-fischerei/07831/07867/07871/index.html?lang=de [Stand: 09.03.2010]

BAFU 2012g: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2012h: Erreichung der Reduktionsziele von Kyoto-Protokoll und CO_2-Gesetz. www.bafu.admin.ch/klima/09570/index.html?lang=de [Stand: 17.01.2012]

BAFU 2012i: Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz – Bericht des Bundesrates zum Postulat «Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen». In Vorbereitung, Bundesamt für Umwelt, Bern, 87 S.

BAFU, BWG, MeteoSchweiz 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bundesamt für Umwelt, Bern, 174 S.

BAFU, WSL 2007: Ereignisanalysen Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Umwelt-Wissen n 0707, Bundesamt für Umwelt, Bern und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 215 S.

BAFU, WSL 2012: Daten bereitgestellt durch M. Gian Reto Bezzola. www.bafu.admin.ch/org/index.html?lang=de

Begert M., Schlegel T., Kirchhofer W. 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. International Journal of Climatology 25: 65–80.

Beniston M. 1997: Variations of snow depth and duration in the swiss alps over the last 50 years: Links to changes in largescale climatic forcings. Climatic Change 36: 281–300.

BFE (Bundesamt für Energie) 2007: Die Energieperspektiven 2035, Band 1, Band 2 und Band 3. Bundesamt für Energie, Bern.

BFE 2011a: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010. Statistique globale suisse de l'énergie 2010. Bundesamt für Energie, Bern.

BFE 2011b: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien (Ausgabe 2011). Bundesamt für Energie, Bern.

BFE 2012a: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Energiewirtschaft.

BFE 2012b: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien.

BAG (Bundesamt für Gesundheit) 2012a: Hitzewelle. www.bag.admin.ch/themen/gesundheitspolitik/00403/03965/index.html?lang=de [Stand: 22.08.2007].

BAG 2012b. Borreliose/Lyme-Krankheit. www.bag.admin.ch/themen/medizin/00682/00684/01017/index.html?lang=de

BAG 2012c: Daten bereitgestellt durch Ekkehard Altpeter. www.bag.admin.ch/index.html?lang=de

BAG 2012d: Daten bereitgestellt durch Hanspeter Zimmermann. http://www.bag.admin.ch/index.html?lang=de

BFS (Bundesamt für Statistik) 2011: Leerwohnungsbestand in der Schweiz am 01.06.2011. www.bwo.admin.ch/dokumentation/00101/00104/index.html?lang=de

BFS 2012a: Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeuge. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03.html

BFS 2012b: Verkehrsleistungen. http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/05.html

BFS 2012c: Gebäude und Wohnungen. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/02.html

BFS 2012d: Bevölkerung. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01.html

BFS 2012e: Daten bereitgestellt durch M. Klaus Leemann und F. Jacolet. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index.html

BFS 2012f: Land- und Forstwirtschaft. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07.html.

BFS 2012g: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02.html

BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) 2008: Informationen 2008 aus den Fachbereichen Ländliche Entwicklung und Meliorationen sowie Hochbau und Betriebshilfen. www.blw.admin.ch/themen/00006/00056/01362/index.html?lang=de [Stand: 9.9.2008]

BLW 2011: Auswertung der Daten über die Milchproduktion – Milchjahr 2010/2011. www.blw.admin.ch/themen/00013/00079/index.html?lang=de [Stand: 14.11.2011].

Bolliger J., Kienast F., Soliva R. Rutherford G. 2007: Spatial sensitivity of species habitat patterns to scenarios of land use change (Switzerland). Landscape Ecology 22: 773–789.

Brändli U.-B. 2010: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, und Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 312 S.

Brassel P., Brändli U.-B. 1999: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, und Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 442 S. ISBN 3-258-05897-0.

Burri C., Bastic V., Maeder G., Patalas E., Gern L. 2011: Microclimate and the zoonotic cycle of tickborne encephalitis virus in Switzerland. Journal of Medical Entomology 48: 615–627.

Camenzind R., Loat R. 2006: Wichtige Aufgaben der Nutzungsplanung. Schweizer Gemeinde Nr. 7/8. www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01922/11411/index.html?lang=de

CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, und OcCC, Zurich, 88 S. ISBN: 978-3-033-03065-7

CIPEL (Commission internationale pour la protection des Eaux du lac Léman) 2011: Daten bereitgestellt durch M. François Rapin. http://www.cipel.org

Cordillot F., Klaus G. 2011: Gefährdete Arten in der Schweiz. Synthese Rote Listen, Stand 2010. Umwelt-Zustand Nr. 1120, Bundesamt für Unwelt, Bern, 111 S.

Defila C., Clot B. 2001: Phytophenological trends in Switzerland. International Journal of Biometeorology 4: 203–207.

Dobbertin M. 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. European Journal of Forest Research 124: 319–334.

Dobbertin M., Rigling A. 2006: Pine mistletoe (Viscum album ssp. austriacum) contributes to Scots pine (Pinus sylvestris) mortality in the Rhône valley of Switzerland. Forest Pathology 36: 309–322.

Dobbertin M., Hilker N., Rebetez M., Zimmermann N.E., Wohlgemuth T., Rigling A. 2005: The upward shift in altitude of pine mistletoe (Viscum album ssp austriacum) in Switzerland— the result of climate warming? Int. J. Biometeorol. 50: 40–47.

EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen) und BFL (Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz) 1988: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Berichte 305, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 375 S. ISSN 0259-3092.

EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) 2008: Vom Gewässer ins Glas – gutes Trinkwasser für heute und morgen. Eawag News 65, Eawag, Dübendorf.

Ecoplan, Sigmaplan 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Schlussbericht. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Energie. www.bafu.admin.ch/klima/00469/00810/00813/index.html?lang=de [Stand: 16.08.2007].

Engadiner Post 2012: http://www.engadinerpost.ch/

Esper J., Büntgen U., Frank D.C., Nievergelt D., Liebhold A. 2007: 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. Proc. R. Soc. B. 274: 671–679.

Franssen H. J., Scherrer S. C. 2007: Freezing of lakes on the Swiss plateau in the period 1901–2006. Int J. Climatol. 28: 421–433. doi:10.1002/joc. 1553.

Frei C., Schär C. 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. J. Climate 14, 1568–1584.

Fuhrer J., Jasper K. 2009: Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. Agrarforschung 16 (10), 396–401.

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

Haeberli W., Hoelzle M., Paul F., Zemp M. 2007: Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. Annals of Glaciology 46, 150–160.

Haeberli W., Paul F., Zemp M. (im Druck): Vanishing glaciers in the European Alps. The Pontifical Academy of Sciences, Scripta Varia 118.

Hänggi P., Bosshard T., Weingartner R. 2011: Swiss discharge regimes in a changing climate. In: Hänggi P., Auswirkungen der hydroklimatischen Variabilität auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Dissertation, Universität Bern, 77–100.

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.

Herrmann C. Gern L. 2010: Survival of Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae) under challenging conditions of temperature and humidity is influenced by Borrelia burgdorferi sensu lato infection. Journal of Medical Entomology 47(6): 1196–1204. doi: 10.1603/ME10111

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

Hofer H.R. 1992: Veranderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. Ber. Geobot. Inst. Eidgenoss. Tech. Hochsch. Stift. Rubel Zur 58: 39–54.

IEA (International Energy Agency) 2011: CO_2 Emissions from Fuel Combustion. International Energy Agency, 538 S.

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

Infras, Ecologic, Rütter + Partner 2007: Auswirkung der Klimaänderung auf die schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse). Schlussbericht. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt. www.bafu.admin.ch/klima/00469/00810/00813/index.html?lang=de [Stand: 14.08.2007]

Infras, Prognos, TEP Energy, Basics AG 2011: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2010 nach Verwendungszwecken. Bundesamt für Energie. www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02167/index.html?lang=de&dossier_id=02169

INRA (Institut National de Recherche Agronomique) 2011: Die INRA Datenbank von Thonon-les-Bains, Daten CIPEL.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2000: IPCC Special Report, Emissions scenarios, A Special Report of IPCC Working Group III, Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change, 22 S. ISBN 92-9169-113-5.

IPCC 2007a: Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York. ISBN 978 0521 88009-1.

IPCC 2007b: Climate Change 2007- Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York. ISBN 978 0521 88010-7.

Jakob A., Binderheim E., Pfammatter F., Schädler M. 2010: Temperaturen in Schweizer Fliessgewässern – Langzeitbeobachtung. Gas–Wasser–Abwasser 3/2010: 221–231.

Jolly W.A., Dobbertin M., Zimmermann N.E., Reichstein M. 2005: Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. Geophysical Research Letters 32: L18409.

Jurasinski G., Kreyling J. 2007: Upward shift of alpine plants increases floristic similarity of mountain summits. Journal of Vegetation Science 18: 711–718.

Kestenholz M., Liechti F., Naef-Daenzer B., Schifferli L., Zbinden N. 2008: Vögel, Wetter und Klimawandel. Bericht 2008 der Schweizerischen Vogelwarte Sempach für die «Gemeinschaft der Freunde der Vogelwarte», Vogelwarte, Sempach, 33 S.

Körner C. 2005: The green cover of mountains in a changing environment. In: U.M Huber., H.K.M Bugmann., M.A Reasoner. (eds.), Global change and mountain regions. An overview of current knowledge. Springer, Berlin, 367–375. doi: 10.1007/1-4020-3508-X_36.

Körner C. 2009: Mountain vegetation under environmental change. In R. Jandl, A. Borsdorf, H. van Miegroet, R. Lackner, R. Psenner, Global change and sustainable development in mountain regions. Proceedings of the COST Strategic Workshop April 7–9, 2008, Congress Innsbruck, Innsbruck University Press, 25–30.

Laternser M., Schneebeli M. 2003: Longterm snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). International Journal of Climatology 23: 733–750.

Livingstone D. M. 1997: Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. Climatic Change 37: 407–439.

Magnuson J.J., Robertson D.M., Wynne R.H., Benson B.J., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Barry R.G., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., and Vuglinski V.S. 2000: Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. Science 289 (5485): 1743–1746.

Marty C. 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland. Geophys. Res. Lett. 35: L12501. doi: 10.1029/2008GL033998.

Meier F., Engesser P., Forster B., Odermatt O. 2005: Forstschutz-Überblick 2004. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
http://www.wsl.ch/fe/walddynamik/waldschutz/wsinfo/fsueb/fsub04d.pdf

MeteoSchweiz 2012a: Klimareport 2011, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, Zürich, 68 S.

MeteoSchweiz 2012b: Klima heute.
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute.html

Morán Cadenas F., Rais O., Jouda F., Douet V., Humair P.F., Moret J., Gern L. 2007: Phenology of the tick Ixodes ricinus and infection with Borrelia burgdorferi sensu lato along a north-and south-facing altitudinal gradient on Chaumont Mountain, Switzerland. Journal of Medical Entomology 44: 683–693.

Müller H. R., Weber F. 2007: Klimaänderung und Tourismus – Szenarienanalyse für das Berner Oberland 2030. FIF, Universität Bern, 88 S.
http://www.berggebiete.ch/files/pdfs/kolumnen/klimawandel_berggebiet_mueller/Klimaaenderung_Berggebiet_Bern_Szenarien_Bericht.pdf

OcCC/ProClim- 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern. Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung und ProClim, Bern, 172 S. ISBN 978-3-907630-26-6.

Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. Wagner F. 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa.

PERMOS 2010: Permafrost in Switzerland 2006/2007 and 2007/2008. J. Noetzli, D. Vonder Muehll (eds.), Glaciological Report (Permafrost) No. 8/9 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences, 68 S.

PERMOS 2012: Daten bereitgestellt durch Fr. Jeannette Noetzli. www.permos.ch/index.html.

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

Peters G.P., Minx J.C., Weber C.L., Edenhofer O. 2011: Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. PNAS 108, 8903–8908. doi: 10.1073/pnas.1006388108.

Randolph S.E., Rogers D.J. 2000: Fragile transmission cycles of tickborne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change. The Royal Society 267: 1741–1744.

Randolph S.E., Asokliene L., Avsic-Zupanc T., Bormane A., Burri C., Gern L., Golovljova I, Hubalek Z., Knap N., Kondrusik M., Kupca A., Pejcoch M., Vasilenko V., Žygutiene M. 2008: Variable spikes in tickborne encephalitis incidence in 2006 independent of variable tick abundance but related to weather. Parasites & Vectors 1: 44. doi: 10.1186/1756-3305-1-44, S. 1–18.

Remund J., Frehner M., Walthert L., Kägi M., Rihm B. 2011: Schätzung standortspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern. Schlussbericht/Version 2.3. Auftraggeber WSL, Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel».
www.wsl.ch/info/organisation/fpo/wald_klima/veranstaltungen/index_DE

Rigling A., Dobbertin M., Bürgi M., Gimmi U., Graf Pannatier E., Gugerli F., Heiniger U., Polomski J., Rebetez M., Rigling D., Weber P., Wermelinger B., Wohlgemuth T. 2006: Verdrängen Flaumeichen die Walliser Waldföhren? Merkblatt für die Praxis 41, WSL, Birmensdorf. ISSN 1422-2876.

Robine J.-M. 2008: Excess mortality in Europe in summer 2003: The «CANICULE» project. In: Inserm, Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-Waves – EuroHEAT. Meeting Report Bonn, Germany, 22–23 March, World Health Organisation, Copenhagen.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/112473/E91350.pdf

Rübel E. 1912 . Pflanzengeographische Monographie des Bernina-gebietes. Engelmann, Leipzig.

SBS (Seilbahnen Schweiz) 2010: Fakten und Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche, Ausgabe 2010.
www.seilbahnen.org/Fakten_und_Zahlen.html

SBV (Schweizerischer Bauernverband) 2012: Nahrungsmittelversorgung nach Art.
http://www.sbv-usp.ch/de/statistik/ [Stand: 01.09.2012]

Scheffer M., Carpenter S., Foley C., Walker B. 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413: 591–596.

Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and largescale climate variability. Geophys. Res. Lett. 31: L13215. doi: 1029/2004GL020255.

Schild 2008: Bewässerungen in der Schweiz: Stand und Ausblick. Geomatik Schweiz, 7.
http://www.geomatik.ch/fileadmin/download/2008/Fach/FA_7_2008_2.pdf

Schorer M. 1992: Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft. Geographica Bernensia, Band G40, Geographisches Institut, Universität Bern.

Schweizerische Eidgenossenschaft 2009a: Bundesgesetz über die zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur (ZEBG), 742.140.2.
http://www.admin.ch/ch/d/sr/742_140_2/index.html

Schweizerische Eidgenossenschaft 2009b: Switzerland's Fifth National Communication under the UNFCCC, Second National Communication under the Kyoto Protocol to the UNFCCC. Bundesamt für Umwelt, Bern, 248 S.

Schweizerische Eidgenossenschaft 2012: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2010: National Inventory Report 2012 including reporting elements under the Kyoto Protocol. Submission of 13 April 2010 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Stadt Baden 2005: Klimawanderungen. Klima und Wald früher – heute – morgen. www.klimawanderungen.ch/downloads/Klimadossier_Erwachsene.pdf [Stand: 22.06.2007].

Stadt Zürich 2011: Daten bereitgestellt durch M. Oliver Köster. http://stadt-zuerich.ch/wasserversorgung

Straile D., Jöhnk K. Rossknecht H. 2003a: Complex effects of winter warming on the physicochemical characteristics of a deep lake. Limnol. Oceanogr. 48: 1432–1438.

Straile D., Livingstone D. M., Weyhenmeyer G. A., George D.G. 2003b: The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck (eds), The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. Geographical Monograph, 134, 263–279.

Swissinfo 2007: Les stations de ski réfléchissent au coût du climat. http://www.swissinfo.ch/fre/dossiers/changement_climatique/rechauffement/Les_stations_de_ski_reflechissent_au_cout_du_climat.html?cid=1335276 [Stand: 16 Juli 2007]

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) 2012: Greenhouse Gas Inventory Data. http://unfccc.int/ghg_data/items/3800.php

Universität Konstanz 2011: Daten bereitgestellt durch M. Prof. Dietmar Streile. http://cms.uni-konstanz.de/biologie/forschung/ (Food web and population ecology).

Vanat L. 2011. Saisonbilanz 2010/2011 – Schweiz – Besucher des Skigebietes. Daten bereitgestellt durch M. Laurent Vanat. www.vanat.com.

VAW/ETHZ und EKK/SCNAT 2010: Gletscherberichte (1881–2009). Die Gletscher der Schweizer Alpen. Jahrbücher der Expertenkommission für Kryosphärenmessnetze der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) Nr. 1–126.Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) ETH Zürich.

Vogelwarte 2012: Daten bereitgestellt durch M. Niklaus Zbinden. www.vogelwarte.ch

Vonder Muehll D., Noetzli J., Makowski K., Delaloye R. 2004: Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost), No. 2/3 of the Glaciological Commission of the Swiss Academy of Sciences and Department of Geography, University of Zurich, 86 S.

Walther G.-R., Beissner S., Burga C.A. 2005b: Trends in upward shift of alpine plants. Journal of Vegetation Science 16: 541–548.

Walther G.-R., Beissner S., Pott R. 2005a: Climate change and high mountain vegetation shifts. In: G. Broll, B. Keplin B. (eds.), Mountain ecosystems, Studies in Treeline Ecology. Springer, Berlin, Heidelberg, 77–95.

Wasser-Agenda 21 2011: Einzugsgebietsmanagement. Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. Bern, 20 S.

Weber M., Schild A. 2007: Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, 17 S.

Weingartner R., Aschwanden H. 1992: Discharge regime – the basis for the estimation of average flows. In: R. Weingartner, M. Spreafico (eds), Hydrological Atlas of Switzerland, Plate 5.2. Swiss National Hydrological and Geological Survey, Bern.

WGMS (World Glacier Monitoring Service) 2011: Daten bereitgestellt durch Fr. Gärtner-Roer. www.wgms.ch

WMO (World Meteorological Organization) 2007: The role of climatological normals in a changing climate. WCDMP 61, WMO-TD 1377, World Meteorological Organization, Genf.

WSL (Institut für Schnee- und Lawinenforschung) 2012: Technischer Schnee. www.slf.ch/forschung_entwicklung/schnee/kunstschnee/index_DE [Stand: 22.06.2012]

Zbinden N., Schmid H., Kéry M. Keller V. 2005: Swiss Bird Index SBI® – Kombinierte Indices für die Bestandsentwicklung von Artengruppen regelmässig brütender Vogelarten der Schweiz 1990–2004. Ornithol. Beob. 102: 283–291.

Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M., Paul F. 2006: Alpine glaciers to disappear within decades? Geophysical Research Letters 33: L13504.

Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M., Maisch M., Paul F. 2007: Europäische Alpen bald ohne Gletscher? In: G. Altner, H. Leitschuh, G. Michelsen, E.U. Simonis, E.U. von Weizsäcker (eds.), Jahrbuch Ökologie, München, 68–82. ISBN 978-3-406-54817-8.