

Klimawandel 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

National Centre for Climate Services NCCS

Klimawandel in der Schweiz

Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

MeteoSchweiz ist ein Amt des Eidg. Departements des Innern (EDI)

Zusammenarbeit unter dem Dach des National Center for Climate Services (NCCS)

Projektleitung und Redaktion

Alexandre Berset, Cornelia Schwierz und Carla Gross

Autorinnen und Autoren

Bundesamt für Umwelt BAFU: Alexandre Berset, Raphael Bucher, Guirec Gicquel, Carla Gross, Sabine Kleppek, Roger Ramer,

Silvia Ruprecht-Martignoli, Andreas Schellenberger,

Adrian Schilt, Martina Zoller (alle Abteilung Klima), Martin

Barben, Thilo Herold, Petra Schmocker-Fackel, Marc Schürch,

Adrian Jakob, Ronald Kozel (Abteilung Hydrologie), Ulrich Walter

Sieber (Abteilung Wasser), Gudrun Schwilch Brünisholz, Rudolf

Stähli (Abteilung Boden und Biotechnologie), Diego Dagani,

Markus Thommen, Gian-Reto Walther (Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften), Sabine Augustin, Christoph Dür

(Abteilung Wald), Carolin Monika Schärpf (Abteilung Gefahren-

prävention), Hannah Scheuthle (Sektion Umweltbeobachtung)

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz:

Stephan Bader, Michael Begert, Olivier Duding, Anke Duguay-

Tetzlaff, Andreas Fischer, Regula Gehrig, Francesco Isotta,

Sven Kotlarski, Luca Panziera, Simon Scherrer,

Cornelia Schwierz, Elias Zubler

Bundesamt für Raumentwicklung ARE:

Melanie Gicquel, Fiona Spycher

Bundesamt für Energie BFE:

Lukas Gutzwiller, Leoni Jossen, Aline Tagmann

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS:

Christoph Werner

GLAMOS: Matthias Huss

PERMOS: Jeannette Nötzli

SWISS TPH: Pie Müller, Martina Ragettli.

Vogelwarte: Thomas Sattler.

Review

BAFU: Roland Hohmann, Regine Röthlisberger (Abteilung Klima),

Markus Wüest (Abteilung Umweltbeobachtung)

MeteoSchweiz: Mischa Croci-Maspoli, Sven Kotlarski

NCCS: Angela Michiko Hama

Lektorat

dialog:umwelt GmbH: Markus Nauser

Zitierung

BAFU et.al., 2020: Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 2013: 105 S.

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Trockenheit am Lac des Brenets im Oktober 2018.

© Anthony Anex, Keystone

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-2013-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Eine Kurzfassung gibt es auf Englisch.

Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2020

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	6	Auswirkungen des Klimawandels auf die anthropogenen Systeme	63
Vorwort	6	6.1	Menschliche Gesundheit	63
Zusammenfassung	7	6.2	Energieproduktion und Energieverbrauch	66
1 Einführung	9	6.3	Wasserwirtschaft	68
1.1 Kontext	9	6.4	Wintertourismus	69
1.2 Grundlagen	9	6.5	Auswirkungen in weiteren Sektoren	71
1.3 Aufbau des Berichts	10	6.6	Wirtschaftliche Kosten	71
2 Treibhausgasemissionen der Schweiz	11	6.7	Indirekte Auswirkungen	72
2.1 Inländische Treibhausgasemissionen nach Gasen	11	7 Emissionsverminderung	74	
2.2 Inländische Treibhausgasemissionen nach Sektoren	12	7.1	Internationale Reduktionsziele	74
2.3 Treibhausgasintensität	23	7.2	Nationale Reduktionsziele	76
2.4 Inländische Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich	25	7.3	Massnahmen zur Emissionsverminderung gemäss CO ₂ -Gesetz	78
2.5 Durch den Schweizer Konsum verursachte Emissionen	27	7.4	Weitere wichtige Beiträge zur Emissionsverminderung	81
3 Beobachtete Entwicklung des Klimas in der Schweiz	29	8 Anpassung an den Klimawandel	86	
3.1 Mittlere Jahres- und Saisontemperatur	30	8.1	Aktionsplan	86
3.2 Weitere Temperaturindikatoren	33	8.2	Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel	87
3.3 Niederschläge und Trockenheit	36	8.3	Anpassung in der Wasserwirtschaft	88
3.4 Nullgradgrenze und Schneedecke	39	8.4	Anpassung in der Raumentwicklung	88
3.5 Sonnenscheindauer und Bewölkung	41	8.5	Anpassung an extreme Naturereignisse	89
3.6 Klimaindikatoren ohne bisher sichtbare Veränderung	41	8.6	Klimaangepasste Waldbewirtschaftung	90
4 Das zukünftige Klima in der Schweiz	42	8.7	Anpassung im Wintertourismus	91
4.1 Emissionsszenarien und Klimamodelle als Grundlage	42	8.8	Anpassung in weiteren Sektoren	92
4.2 Entwicklung der Temperatur mit und ohne Klimaschutz	42	9 Fazit	94	
4.3 Hauptresultate der CH2018-Szenarien im Überblick	43	10 Abkürzungsverzeichnis	95	
4.4 Weiterführende Studien und Aktivitäten	46	11 Literaturverzeichnis	96	
5 Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen Systeme	47			
5.1 Hydrosphäre	47			
5.2 Kryosphäre	50			
5.3 Pedosphäre	54			
5.4 Biosphäre	54			

Abstracts

Human activity is changing the climate, and indicators show that Switzerland is particularly hard hit by climate change. Using selected examples, this report describes Switzerland's contribution to climate change (greenhouse gas emissions and their sources), the observed state of the climate and its expected future development, as well as the impacts of climate change on natural systems, society and the economy. It also presents the main policy responses and measures on emissions reduction and climate change adaptation.

Menschliche Aktivitäten führen zu einer Veränderung des Klimas. Indikatoren belegen, dass die Schweiz vom Klimawandel besonders stark betroffen ist. Dieser Bericht beschreibt anhand von ausgewählten Beispielen den Beitrag der Schweiz zum Klimawandel (Emissionen von Treibhausgasen und deren Quellen), den Zustand des beobachteten Klimas und seine erwartete, zukünftige Entwicklung sowie die Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen Systeme sowie Gesellschaft und Wirtschaft. Ebenso werden die wichtigsten politischen Antworten und Massnahmen in den Bereichen Emissionsverminderung und Anpassung an den Klimawandel vorgestellt.

Les activités humaines modifient le climat. Les indicateurs montrent que la Suisse est particulièrement touchée par les changements climatiques. Ce rapport décrit, à l'aide d'exemples choisis, la contribution de la Suisse à ces changements (émissions de gaz à effet de serre et leurs sources), les observations concernant l'état du climat et son évolution future attendue, ainsi que les effets des changements climatiques sur les systèmes naturels, la société et l'économie. Il présente également les principales réponses et mesures politiques dans une optique de réduction des émissions et d'adaptation aux changements climatiques.

Le attività antropiche provocano un mutamento climatico e, come dimostrano gli indicatori, la Svizzera ne è particolarmente colpita. Sulla base di una selezione di esempi, il presente rapporto illustra il contributo della Svizzera ai cambiamenti climatici (emissioni di gas serra e loro fonti), lo stato del clima osservato e l'atteso sviluppo futuro nonché gli effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali, la società e l'economia. Sono inoltre presentate le principali risposte del mondo politico e le misure adottate negli ambiti della riduzione delle emissioni e dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Keywords:

Climate change, greenhouse gas emissions, climate policy, impacts, emissions reduction, adaptation, indicator, Switzerland.

Stichwörter:

Klimawandel, Treibhausgasemissionen, Klimapolitik, Auswirkungen, Emissionsverminderung, Anpassung, Indikator, Schweiz.

Mots-clés :

changements climatiques, émissions de gaz à effet de serre, politique climatique, effets, réduction des émissions, adaptation, indicateur, Suisse.

Parole chiave:

cambiamenti climatici, emissioni di gas serra, politica climatica, effetti, riduzione delle emissioni, adattamento, indicatore, Svizzera.

Vorwort

Die Veränderungen im Klimasystem sind allgegenwärtig und betreffen zahlreiche Sektoren. Es ist heute unter Fachleuten unbestritten, dass die von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen für den Klimawandel hauptverantwortlich sind. Mit der wachsenden Weltbevölkerung und dem steigenden Energiebedarf werden die Treibhausgasemissionen ohne Gegenmassnahmen weiter zunehmen. Hinzu kommt, dass einmal emittierte Klimagase mehrere Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Atmosphäre verweilen und das Klima weiter aufheizen. Der Klimawandel lässt sich selbst mit rigorosen Klimaschutzmassnahmen nicht mehr aufhalten, sondern nur noch begrenzen.

Auf internationaler Ebene stellt das 2015 verabschiedete Übereinkommen von Paris eine entscheidende Etappe im Kampf gegen den Klimawandel dar. Heute werden die Realität des Klimawandels und die Dringlichkeit eines international koordinierten Handelns nicht mehr in Frage gestellt. Zahlreiche Initiativen für den Klimaschutz befinden sich bereits in Umsetzung.

Auch die Schweiz strebt eine Klimapolitik an, die auf der Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels beruht. Dank langen Messreihen kann der Bund ein breites Spektrum von Indikatoren bereitstellen, die die langfristige Entwicklung des Klimas beschreiben und den Klimawandel anschaulich machen. Klimaindikatoren liefern wichtige Grundlagen für eine angemessene Reaktion in Wirtschaft und Politik: Schädliche Auswirkungen können so rechtzeitig erkannt und Gegenmassnahmen auf ihre Angemessenheit und Wirksamkeit überprüft werden.

Der vorliegende Bericht knüpft an frühere Publikationen an, er erscheint aber zum ersten Mal unter dem Dach des National Centre for Climate Services (NCCS). Er dokumentiert die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels und gibt zahlreiche Hinweise auf die Notwendigkeit von Emissionsverminderungs- bzw. Anpassungsmassnahmen.

Katrin Schneeberger, Direktorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Peter Binder, Direktor
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

Zusammenfassung

Der menschliche Einfluss auf das Klima durch den Ausstoss von Treibhausgasen gilt als Hauptursache der seit 1850 beobachteten globalen Erwärmung. In der Schweiz stammt der grösste Teil der CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch. Das nationale Treibhausgasinventar registriert zwischen 1900 und 2018 eine Versechsfachung der CO₂-Emissionen, wobei der markanteste Anstieg zwischen 1945 und 1970 stattfand und sich seither auf diesem hohen Niveau bewegt. Dieser Verlauf ist vor allem auf das starke Wirtschaftswachstum und die rasante Zunahme des Strassenverkehrs zurückzuführen.

Die totalen Treibhausgasemissionen der Schweiz sind seit 2005 leicht zurückgegangen und lagen 2018 bei 46,4 Mio. t CO₂-Äquivalenten. In dieser Zahl sind jedoch nicht alle Emissionen enthalten, die der Schweiz zugerechnet werden können. Unter Berücksichtigung der globalen Auswirkungen des Schweizer Konsums wurden im Jahr 2015 rund 70 % der Treibhausgasemissionen im Ausland verursacht.

In der Schweiz hat sich die Durchschnittstemperatur seit der vorindustriellen Zeit um rund 2 °C erhöht. Das ist gut doppelt so viel wie der Anstieg der mittleren globalen Temperatur. Die fünf wärmsten Jahre der Messreihe (1864–2019) wurden alle nach 2010 gemessen. Hitzewellen sowie mehr heisse Tage und Nächte, aber auch der Rückgang der Schneebedeckung im Mittelland, zeugen vom Klimawandel. Auch Starkniederschläge sind intensiver und häufiger geworden.

Die Klimazukunft der Schweiz hängt massgeblich von der Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen ab. Gelingt es, diese in den nächsten Jahrzehnten massiv zu reduzieren, wird sich die Schweiz gemäss den neuesten nationalen Klimaszenarien CH2018 bis Ende des Jahrhunderts um 2,1–3,4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau erwärmen. Nimmt der Treibhausgasausstoss hingegen weiterhin zu, könnte die Durchschnittstemperatur in der Schweiz im gleichen Zeitraum um 4,8–6,9 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau ansteigen. Gemäss diesem pessimistischen Szenario würden bis Mitte des 21. Jahrhunderts die durchschnittlichen Sommer-niederschläge um bis zu 25 % sinken (um bis zu 40 % bis

Ende des Jahrhunderts), Starkniederschläge würden um 10 % häufiger (um 20 % bis Ende des Jahrhunderts) und Hitzewellen würden an Intensität und Frequenz spürbar zunehmen. Mit konsequentem Klimaschutz liessen sich hingegen bis 2060 etwa die Hälfte, bis im Jahr 2100 zwei Drittel der möglichen Auswirkungen auf das Klima der Schweiz vermeiden.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden immer deutlicher sichtbar, ganz besonders in den vergletscherten Gebieten. Seit über 100 Jahren ziehen sich die Schweizer Gletscher allmählich zurück. In den letzten 10 Jahren hat sich der Volumenverlust auf durchschnittlich 2 % pro Jahr beschleunigt. Es ist absehbar, dass bis Ende dieses Jahrhunderts im Alpenraum nur noch spärliche Gletscherreste übrig bleiben werden. Bei kleineren Gletschern ist dies bereits heute der Fall: Der Pizolgletscher wird seit 2019 wegen seiner geringen Restfläche nicht mehr vermessen.

Seit Beginn der Messungen in den 1960er-Jahren werden in den grösseren Fließgewässern der Schweiz steigende Temperaturen registriert. Obwohl das Einleiten von Kühlwasser diesen Trend mitbeeinflusst, spielt auch der Klimawandel eine wichtige Rolle. Auch in der Pflanzen- und Tierwelt sind signifikante Veränderungen zu beobachten. So treiben in der ganzen Schweiz verschiedene Pflanzenarten immer früher aus. In der Periode zwischen 1951 und 2019 waren neun Jahre durch einen «sehr frühen» Frühlingsbeginn gekennzeichnet, davon fielen sieben in die Zeit seit 1990.

Der Klimawandel wirkt sich auch auf die Gesellschaft aus. Hitzewellen belasten den menschlichen Organismus. Sie können zu Dehydrierung oder zur Verschlechterung der Herz- oder der Lungenfunktion führen, was sich auch in einem Anstieg der Notfall-Spitaleintritte äussert. Ältere Menschen und Säuglinge sind besonders gefährdet. In der Schweiz starben während des Hitzesommers 2003 von Juni bis August 975 Personen mehr als üblicherweise im gleichen Zeitraum. Auch in den Sommern 2015 und – etwas weniger extrem – 2018 wurden erhöhte Sterblichkeitsraten registriert.

Die Schweiz beteiligt sich an der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und strebt bis 2020 eine Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber 1990 an. Die aktuellsten verfügbaren Daten des nationalen Treibhausgasinventars für das Jahr 2018 zeigen allerdings, dass sie beim Erreichen dieses Ziels zu scheitern droht. Im Rahmen des Übereinkommens von Paris will die Schweiz ihre Emissionen bis 2030 um 50 % senken. Weiter hat sie angekündigt sie bis 2050 auf Netto Null zu reduzieren. Will sie diese Ziele erreichen, muss sie ihre Bemühungen deutlich verstärken.

Das CO₂-Gesetz ist die wichtigste Grundlage für Massnahmen zur Emissionsverminderung. Seit 2010 ermöglicht z. B. das Gebäudeprogramm rund 0,5 Mio. t CO₂ pro Jahr zu reduzieren (Stand 2017). Dieses Programm, das teilweise aus der CO₂-Abgabe finanziert wird, fördert unter anderem energetische Sanierungen oder den Ersatz von fossilen Heizungen. Am 25. September 2020 hat das Parlament das revidierte CO₂-Gesetz angenommen. Es sieht bis 2030 eine Reduktion der Emissionen um mindestens 50 % gegenüber dem Stand von 1990 vor.

Aufgrund der Trägheit des Klimasystems wird der Klimawandel selbst bei sofortigem Stopp der Treibhausgasemissionen weiter voranschreiten. Die Schweiz muss sich darum rechtzeitig auf die absehbaren Auswirkungen einstellen. Der Bundesrat hat 2012 eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel verabschiedet. Deren Ziel besteht darin, Risiken zu minimieren, Chancen zu nutzen und die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel zu erhöhen. So wird z. B. im Bereich Wasserwirtschaft das Ziel eines angebotsorientierten, nachhaltigen Wassermanagements verfolgt. Der Bund fördert die Umsetzung der Anpassungsstrategie mit dem Pilotprogramm *Anpassung an den Klimawandel*.

Um die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anwendung von Klimaschutz- oder Anpassungsmassnahmen zu unterstützen, hat der Bund im Jahr 2015 mit dem *National Centre for Climate Services* (NCCS) ein Netzwerk geschaffen, in dem die beteiligten Mitglieder¹ Klimadienstleistungen bündeln und über die Plattform www.nccs.ch bereitstellen. Zentrales Element ist der Dialog und die partner-

schaftliche Entwicklung der Klimadienstleistungen durch Produzenten und Nutzer. Dieser Bericht ist ein Beispiel für die Zusammenarbeit und den Austausch von Fachwissen zwischen den verschiedenen Institutionen und Akteuren, die sich mit dem Klimawandel befassen.

1 www.nccs.admin.ch/mitglieder-und-partner

1 Einführung

1.1 Kontext

Treibhausgase sind in der Atmosphäre vorhandene Gase, die einen Teil der von der Erde abgestrahlten Wärme absorbieren, die sonst wieder ins Weltall entweichen würde. Sie sind notwendig für das Leben auf der Erde, weil sie den globalen Strahlungshaushalt und damit auch die Temperaturen massgeblich beeinflussen. Sie umfassen natürlich vorkommende Gase wie Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) und auch menschengemachte, wie Fluorkohlenwasserstoffe (FKW).

Die atmosphärischen Konzentrationen der wichtigsten Treibhausgase (CO_2 , N_2O und CH_4) sind in den letzten Jahren auf Werte angestiegen, die seit mindestens 800 000 Jahren nicht mehr erreicht wurden (IPCC 2013/2014). Die Analyse von Eisbohrkernen zeigt, dass eine hohe CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre immer eng gekoppelt war mit höheren Umgebungstemperaturen (Treibhauseffekt). Zudem ist die Konzentration von CO_2 in der Atmosphäre während der letzten 22 000 Jahre niemals derart rasch angestiegen wie im letzten Jahrhundert (IPCC 2013/2014). Dieser rasche Anstieg erfolgte vor allem aufgrund menschlicher Aktivitäten – primär des Verbrauchs fossiler Brenn- und Treibstoffe und Landnutzungsänderungen – und führte von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm² im Jahr 1750 auf über 415 ppm im Jahr 2019 (Scripps 2019).

Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig und viele der seit den 1950er-Jahren festgestellten Veränderungen waren vorher über Jahrzehnte bis Jahrtausende nie aufgetreten (IPCC 2014b). Im Laufe des 20. Jahrhunderts und besonders seit den 1980er-Jahren wird ein starker Temperaturanstieg beobachtet. Die globale Erwärmung seit Beginn systematischer Messungen um 1850 beträgt rund 1 °C. Die natürliche Klimavariabilität reicht nicht aus, um diese sehr rasche Veränderung zu erklären. Der menschliche Einfluss und seine Auswirkungen auf das Klima stehen heute ausser Zweifel. Die Gründung des «Weltklimarats» IPCC im Jahr 1988 mit seinen Sachstandsbe-

richten und das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen von 1992 markieren den Beginn der international koordinierten Bemühungen zum Schutz des Klimasystems. 2015 wurde das Übereinkommen von Paris (engl. Paris Agreement³) von 197 Staaten verabschiedet mit dem Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen. Gleichzeitig sollen die Finanzmittelflüsse in Einklang gebracht werden mit einem Weg hin zu einer emissionsarmen und gegenüber Klimaänderungen widerstandsfähigen Entwicklung. Die Schweiz hat das Übereinkommen am 6. Oktober 2017 ratifiziert.

Klimadienstleistungen im Sinne des Globalen Rahmenwerks für Klimadienste (GFCS⁴) sind wissenschaftlich abgestützte Informationen über das vergangene, aktuelle und zukünftige Klima und seine Folgen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Sie dienen der Planung und Umsetzung gezielter und effektiver Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen und helfen Behörden, Politik und Wirtschaft, klimakompatible Entscheidungen zu treffen. Es geht dabei insbesondere darum, Risiken effizienter zu managen, Chancen frühzeitig zu erkennen und zu nutzen sowie Kosten zu optimieren. Der vorliegende Bericht bietet entsprechende Informationen in Form von Indikatoren, die den Klimawandel und dessen Ursachen und Auswirkungen in der Schweiz dokumentieren. Er wurde gemeinsam vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und MeteoSchweiz im Rahmen des *National Centre for Climate Services* (NCCS) erarbeitet.

1.2 Grundlagen

Der vorliegende Bericht aktualisiert und ergänzt die Vorläuferberichte aus den Jahren 2007 (North et al. 2007) und 2013 (Perroud & Bader 2013). Er gibt Auskunft über die Ursachen des Klimawandels, die beobachteten Veränderungen des Klimas in der Schweiz, deren Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft sowie bisher ergriffene Emissionsverminderungs- und Anpassungsmassnahmen.

2 Englisch: parts per million.

3 Für mehr Informationen: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php

4 Global Framework for Climate Services (GFCS): www.gfcs-climate.org

Im Vergleich zu den früheren Ausgaben enthält er zudem Informationen zur erwarteten zukünftigen Klimaentwicklung. Auch das Kapitel über die Auswirkungen auf die Gesellschaft wurde erweitert.

Um faktenbasierte Entscheidungen bezüglich des Klimawandels treffen und die Wirksamkeit der ergriffenen Massnahmen überprüfen zu können, sind qualitativ hochwertige, langfristige Beobachtungsdaten und detaillierte Projektionen zur Klimaänderung und zu den Klimafolgen nötig. Mithilfe von Daten, die in regelmässigen Abständen erhoben werden, können die Ursachen und Auswirkungen der Klimaänderung auf die natürliche und menschliche Umwelt in der Schweiz beschrieben und evaluiert werden. Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Indikatoren sollen insbesondere folgende Bedingungen erfüllen: Sie bilden die Elemente des Klimasystems repräsentativ ab; sie ermöglichen die Nachverfolgung der zeitlichen Entwicklung; sie beruhen auf einer wissenschaftlichen Methodik; sie sind verständlich und klar; sie lassen eine eindeutige Interpretation zu.

Die Indikatoren für die Treibhausgasemissionen stammen hauptsächlich aus dem Treibhausgasinventar des BAFU. Dieses wird jedes Jahr gemäss den Richtlinien der Klimarahmenkonvention erstellt und dient auch der Überprüfung der Umsetzung des CO₂-Gesetzes. Mit dem Treibhausgasinventar verfügt das BAFU über detaillierte Daten zur Entwicklung der Emissionen in den verschiedenen Sektoren.

Was die Daten zur Atmosphäre anbelangt, betreibt das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz ein dichtes Netz von Beobachtungsstationen. Das Klimamessnetz von MeteoSchweiz zeichnet seit 1864 Wettergrössen in der Schweiz auf. Mit diesen Daten werden vergangene Veränderungen des Klimas untersucht.

Für die Planung der Anpassungen an den Klimawandel benötigen Entscheidungsträger auch Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung. Daher hat MeteoSchweiz seit 2014 zusätzlich das Mandat des Bundes, regelmässig nationale Klimaszenarien zu erstellen. Dies geschieht im Rahmen eines Themenschwerpunkts des NCCS. Die neuesten Schweizer Klimaszenarien CH2018 wurden am 13. November 2018 veröffentlicht.⁵

5 Für mehr Informationen: www.klimaszenarien.ch

Für die Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die natürliche Umwelt und die Gesellschaft werden sowohl Messungen und Erhebungen des BAFU als auch Auswertungen von Mess- und Beobachtungsnetzen oder Umfragen, die von anderen Bundesämtern oder Forschungseinrichtungen bereitgestellt werden, herangezogen.

Indikatoren zu Emissionsverminderungsmassnahmen und deren Auswirkungen beruhen hauptsächlich auf Daten des BAFU und des Bundesamts für Energie (BFE). Anpassungsmassnahmen werden auf verschiedenen Ebenen (Bund, Kantone, Gemeinden, Privatwirtschaft) ergriffen und betreffen eine Vielzahl von Themen. Zum jetzigen Zeitpunkt fehlt eine umfassende Übersicht über die Massnahmen. Insbesondere beim Thema Anpassung können auch qualitative Daten relevante Informationsquellen sein.

1.3 Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht ist nach dem so genannten DPSIR-Modell⁶ gegliedert:

- Drivers (Ursachen);
- Pressures (Belastungen);
- State (Zustand);
- Impacts (Auswirkungen);
- Responses (Massnahmen).

Dieses Modell ermöglicht es, die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Faktoren in einer kausalen Wirkungskette zu analysieren. In Kapitel 2 ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen und der Aktivitäten, die diese verursachen, dargestellt. Die vergangene und erwartete zukünftige Entwicklung des Klimas in der Schweiz wird in den Kapiteln 3 und 4 aufgezeigt. In den Kapiteln 5 und 6 werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen und anthropogenen Systeme vorgestellt. Die Kapitel 7 und 8 umfassen Indikatoren, die über ergriffene Emissionsverminderungs- und Anpassungsmassnahmen und deren Wirkung Auskunft geben.

6 Für mehr Informationen: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/definition--ursachen--belastungen--zustand--auswirkungen--massna.html>

2 Treibhausgasemissionen der Schweiz

Die durch menschliche Tätigkeiten verursachten Treibhausgasemissionen sind für den seit Mitte des 20. Jahrhunderts beobachteten Klimawandel verantwortlich. Mit Einsetzen der verbreiteten Nutzung von Erdöl als Brenn- und Treibstoff, begannen die globalen Treibhausgasemissionen Anfang der 1950er-Jahre stark zu steigen (IPCC 2014b).

Das vorliegende Kapitel handelt von der Schweiz als Verursacherin von Treibhausgasemissionen und ihrem Beitrag an den globalen Klimawandel. Die ersten vier Unterkapitel befassen sich mit den inländischen Emissionen. Die Angaben stützen sich auf das Treibhausgasinventar, zu dessen jährlicher Erstellung sich die Schweiz unter der Klimarahmenkonvention verpflichtet hat. In Unterkapitel 2.1 werden die Emissionen nach Gasen behandelt, während sich Unterkapitel 2.2 mit den Emissionen nach verursachenden Aktivitäten befasst. Unterkapitel 2.3 betrachtet die Treibhausgasintensität im Zusammenhang mit drei relevanten Parametern, nämlich dem Bevölkerungswachstum, dem Wirtschaftswachstum und dem Energieverbrauch. Unter-

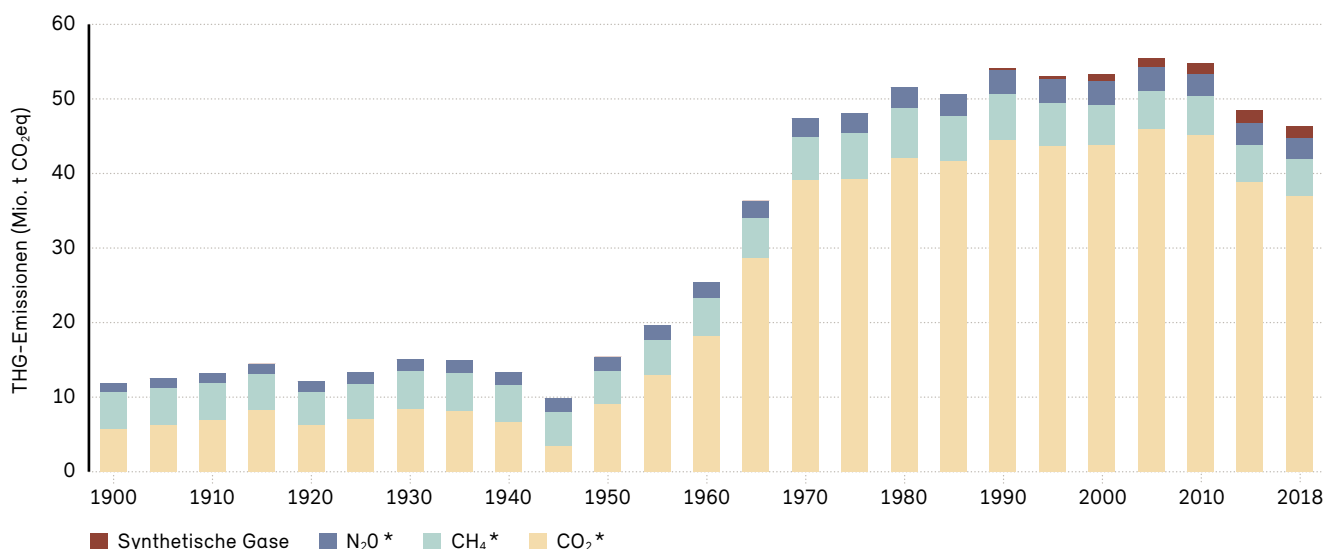
kapitel 2.4 erweitert die Perspektive durch einen Blick auf die Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich. In Unterkapitel 2.5 werden zusätzlich die Emissionen, welche die Schweiz (direkt oder indirekt) im Ausland verantwortet, in die Überlegungen einbezogen.

2.1 Inländische Treibhausgasemissionen nach Gasen

Treibhausgase sind Gase natürlichen oder anthropogenen Ursprungs. In der Atmosphäre verursachen diese Gase durch Absorption der von der Erdoberfläche ausgehenden Strahlung eine Erwärmung der Erde (IPCC 2014a). CO_2 , CH_4 , N_2O und synthetische Gase (HFKW, PFKW, SF_6 und NF_3) beeinflussen das Klima besonders stark. In der Schweiz waren die Emissionen dieser Treibhausgase bis 1950 stabil, die CO_2 -Emissionen begannen aber anschliessend deutlich zu steigen (Abbildung 1). Diese Phase endete in den 1980er-Jahren. Bis 2010 blieb das Emissionsniveau weitgehend stabil. Seither kann

Abb. 1: Total der Treibhausgasemissionen

Inländische CO_2 -, CH_4 - und N_2O -Emissionen sowie Emissionen synthetischer Gase (HFKW, PFKW, SF_6 und NF_3) der Schweiz, in CO_2 -Äquivalenten, 1900 bis 2018.



* Das BAFU überarbeitete zum Zeitpunkt der Publikation dieses Berichts die Emissionszahlen vor 1990. Zu den N_2O -Emissionen wurde die vereinfachende Annahme getroffen, dass im Jahr 1900 die N_2O -Emissionen aus der Landwirtschaft halb so gross waren wie 1990. Dazwischen wurde linear interpoliert.

Quelle: BAFU (2020a)

ein leicht abnehmender Trend beobachtet werden. Von 1900 bis 2018 sind die totalen Treibhausgasemissionen der Schweiz um etwa das Vierfache gestiegen, von circa 12 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂eq)⁷ auf 46,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (BAFU 2020a). Die Emissionszahlen vor 1990 werden momentan vom BAFU überarbeitet, speziell für die N₂O-Emissionen mussten vereinfachende Annahmen getroffen werden.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts erhöhte sich der Anteil der CO₂-Emissionen am Total von 48 % auf 80 % (Abbildung 1). Die CO₂-Emissionen stammen in erster Linie aus der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe. Für den rasanten Anstieg der CO₂-Emissionen seit 1950 sind vor allem das starke Wirtschaftswachstum und die stürmische Entwicklung des Strassenverkehrs verantwortlich (vgl. Kap. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 und 2.2.5).

CH₄- und N₂O-Emissionen entstehen vor allem in der Landwirtschaft. Im Vergleich zur Landwirtschaft geringere CH₄- und N₂O-Emissionen werden bei der Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe, bei der Abfallbewirtschaftung (Deponien, Abwasserreinigungsanlagen, Kompostierung, Biogasanlagen) und bei industriellen Prozessen freigesetzt.

Die synthetischen Gase HFKW, PFKW, SF₆ und NF₃ werden erst seit den 1990er-Jahren in nennenswertem Umfang emittiert. Seither hat ihre Verwendung jedoch zugenommen, da die ozonschichtabbauenden synthetischen Gase FCKW und HFCKW für Industrieländer verboten bzw. eingeschränkt wurden. 2018 machten die Emissionen der synthetischen Gase knapp 4 % der inländischen Treibhausgasemissionen aus. Diese Gase haben ein sehr hohes globales Erwärmungspotenzial (50- bis 24 000-mal höher als dasjenige von CO₂) und verbleiben während Jahrhunderten bis Jahrtausenden in der Atmosphäre. Sie werden insbesondere in Kältemitteln für stationäre Kühlsysteme und mobile Klimaanlage, als Schäumungsmittel bei der Herstellung von Schaumstoffen, als Isolationsgas in elektrischen Anlagen sowie in der Medizin in Druckgaspackungen verwendet.

⁷ Die verschiedenen Treibhausgase werden in die Einheit CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die Umrechnung berücksichtigt die unterschiedlichen Erwärmungspotenziale der Treibhausgase relativ zu CO₂. Beispielsweise entsprechen 1 kg CH₄ 25 kg CO₂-Äquivalenten und 1 kg N₂O 298 kg CO₂-Äquivalenten.

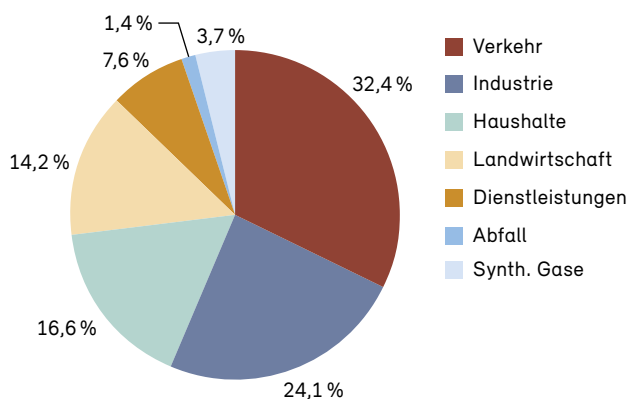
2.2 Inländische Treibhausgasemissionen nach Sektoren

Ob in den Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft oder Abfall: In allen Bereichen generiert der Mensch Treibhausgasemissionen. Die hier dargestellten Sektoren entsprechen der Aufteilung gemäss CO₂-Verordnung, wobei sich der Sektor Gebäude aus den Haushalten und den Dienstleistungen zusammensetzt (BAFU 2020b).

Die Daten des Treibhausgasinventars für das Jahr 2018 zeigen, dass der Sektor Verkehr mit einem Anteil von 32,4 % an erster Stelle der Treibhausgase verursachenden Sektoren steht (Abbildung 2). Darauf folgen der Sektor Industrie mit 24,1 % und die Haushalte mit 16,6 % Anteil. Der Sektor Landwirtschaft und die Dienstleistungen sind für 14,2 % bzw. 7,6 % der totalen Treibhausgasemissionen verantwortlich, die synthetischen Gase und der Sektor Abfall für 3,7 % bzw. 1,4 %.

Abb. 2: Treibhausgasemissionen pro Sektor

Anteile der Sektoren an den gesamten inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2018.

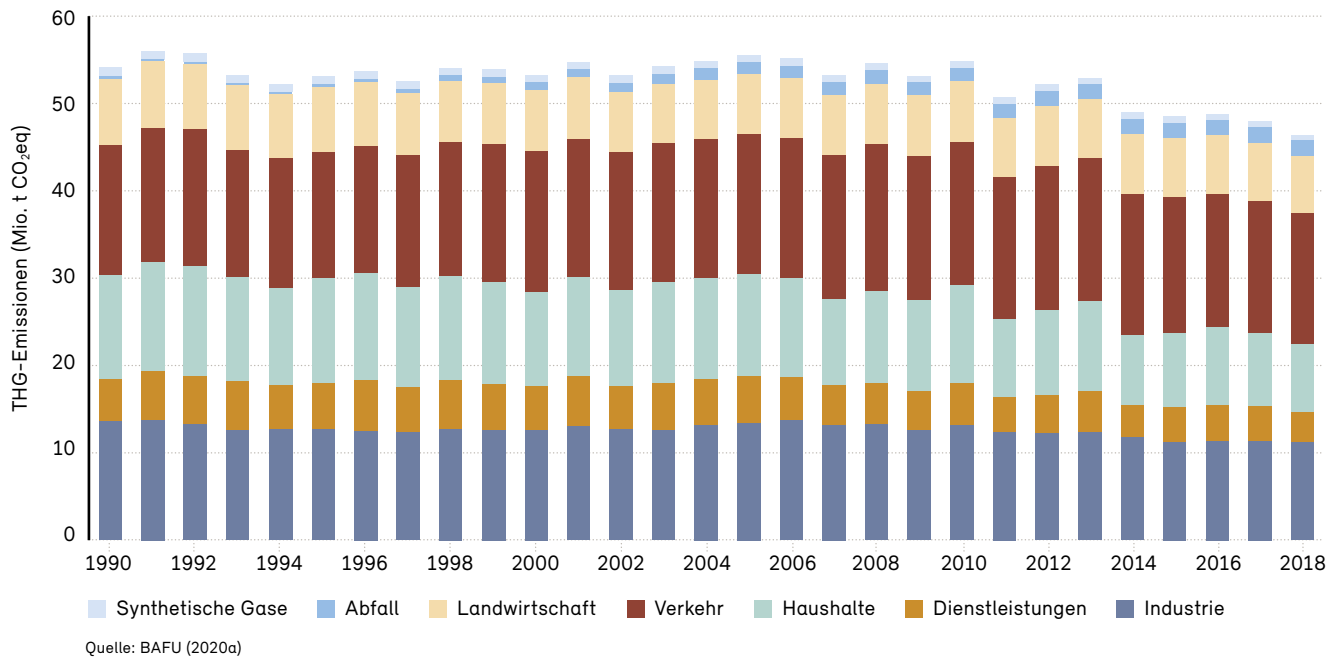


Quelle: BAFU (2020a)

In den folgenden Abschnitten wird die Analyse der Treibhausgasemissionen für die einzelnen Sektoren vertieft. Der letzte Abschnitt befasst sich mit den Emissionen und Senken der Landnutzung.

Abb. 3: Anteile der Treibhausgasemissionen pro Sektor

Anteile an den gesamten inländischen Treibhausgasemissionen, in CO₂-Äquivalenten, Schweiz, 1990 bis 2018.

**Abb. 4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen pro Sektor**

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen pro Sektor, in CO₂-Äquivalenten, Schweiz, 1990 bis 2018.

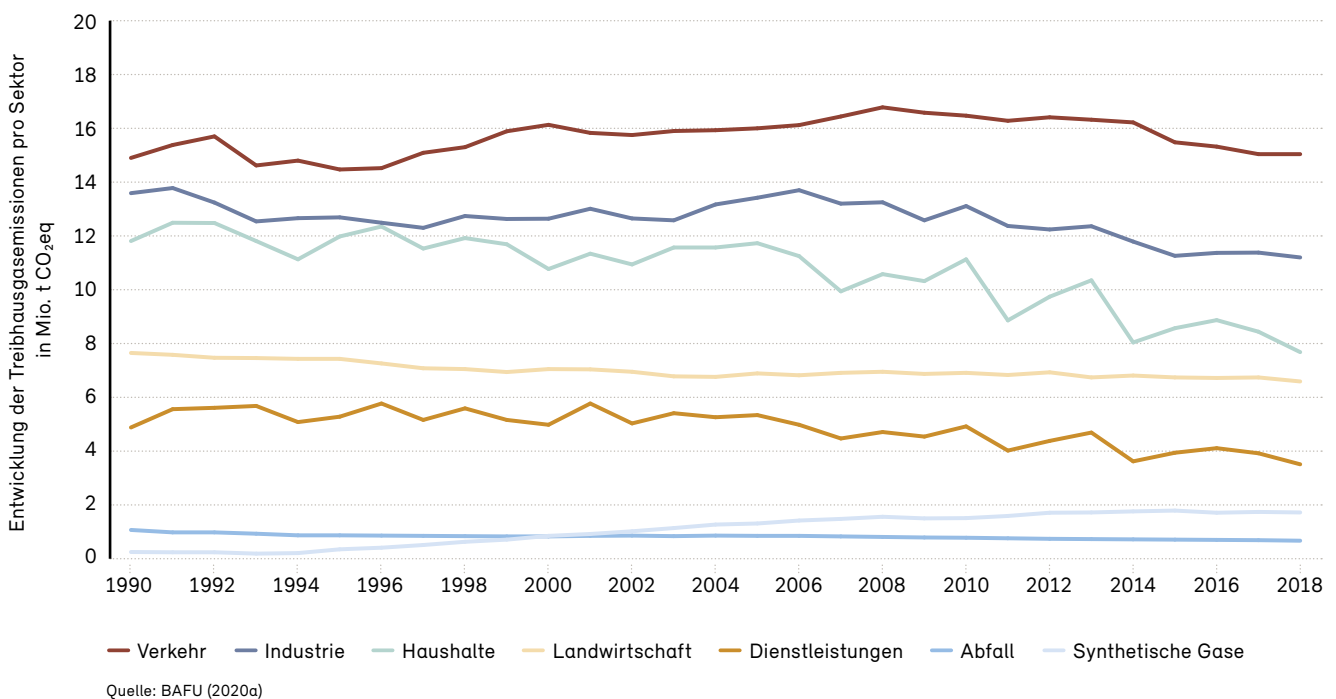
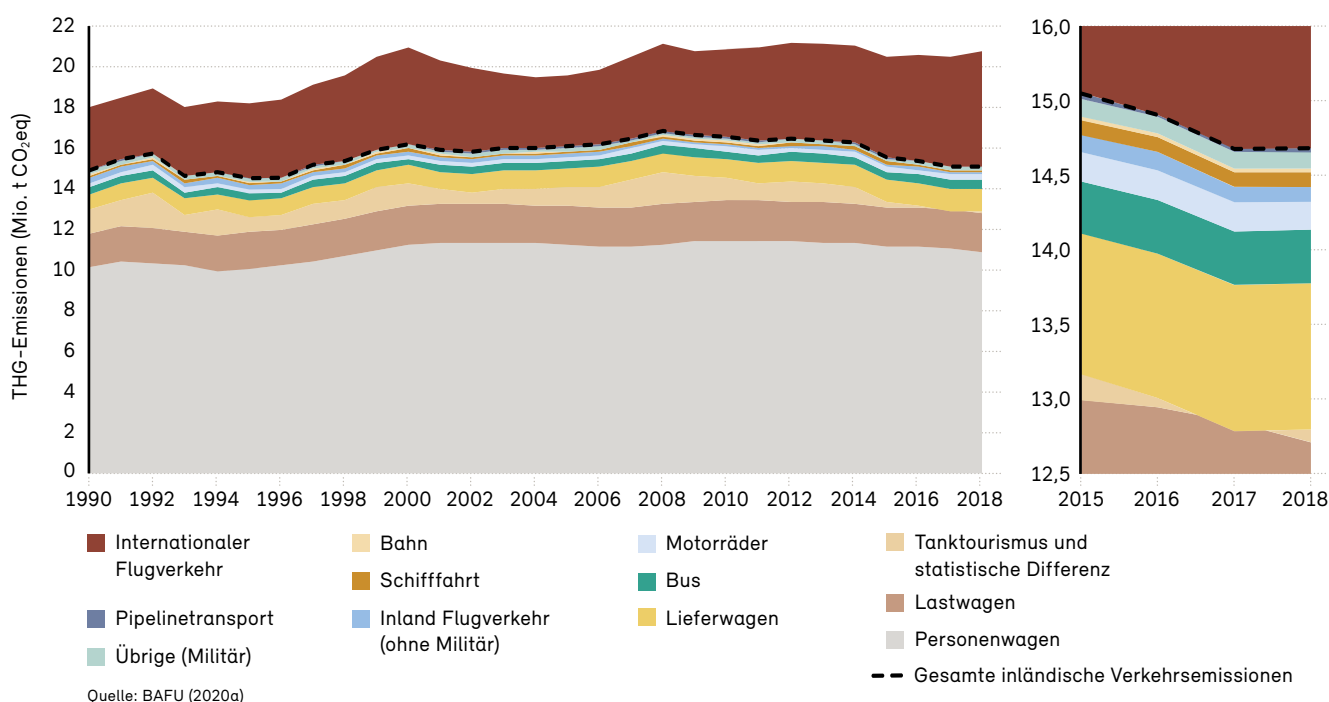


Abb. 5: Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors in der Schweiz 1990 bis 2018. Die schwarze, gestrichelte Linie zeigt die gesamten inländischen Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors (ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr).



2.2.1 Verkehr

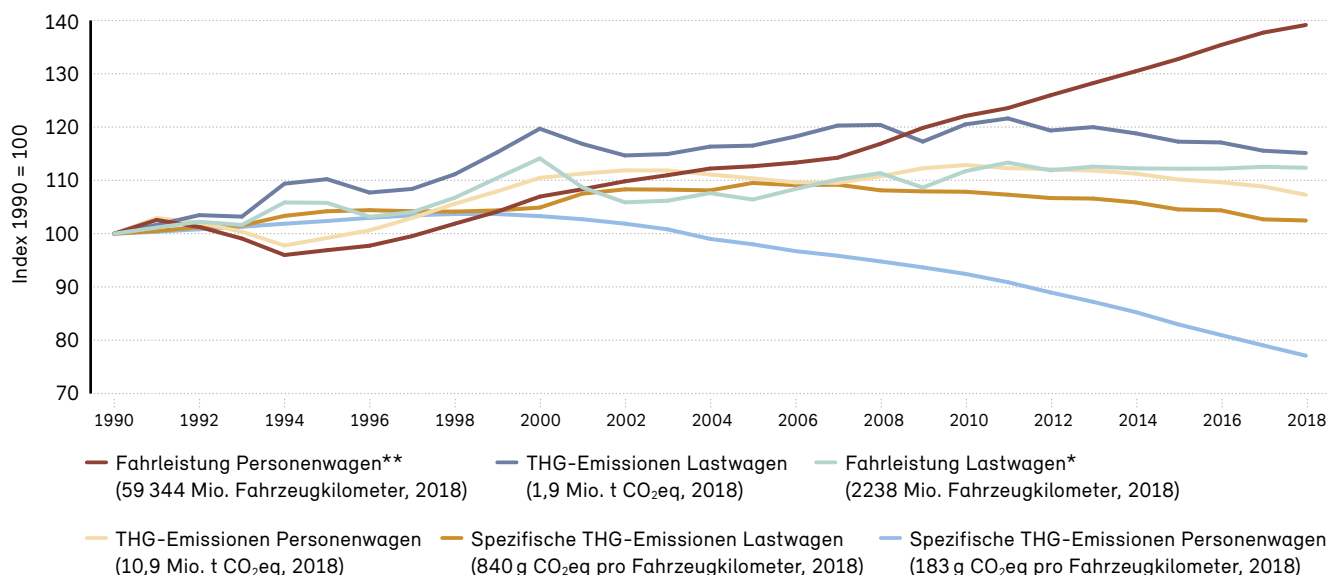
Im Sektor Verkehr werden die Emissionen des Strassen-, Schiffs- und Schienenverkehrs sowie des inländischen Flugverkehrs, des Treibstoffverbrauchs der Armee, des Tanktourismus⁸ und des Betriebs von Gas-Pipelines zusammengefasst. 2018 trug der Verkehrssektor 15 Mio. t CO₂eq (32 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen bei (Abbildung 4). 2018 lagen die verkehrsbedingten Emissionen um 1 % höher als 1990.

Mit einem Anteil von 97 % dominiert der Strassenverkehr (Personenwagen, Lastwagen, Lieferwagen, Busse und Motorräder) die Emissionen des Verkehrssektors. Die Personenwagen allein sind für 72 % der Emissionen dieses Sektors verantwortlich. Von 1990 bis 2018 stiegen die Emissionen der Personen- und der Lastwagen um 7 % resp. 15 % an. Zwar nahmen im selben Zeitraum die Emis-

sionen von Lieferwagen (+46 %) und Bussen (+36 %) stärker zu, der Einfluss auf die gesamten Emissionen des Strassenverkehrs ist jedoch relativ gering. Der Schienen- und Schiffs-, der inländische Flugverkehr (inkl. Militär) und der Pipelinetransport tragen im Vergleich zum Strassenverkehr in sehr geringem Masse zu den Emissionen des Verkehrssektors bei (Abbildung 5).

Gemäss den Vorgaben der Klimarahmenkonvention werden die Emissionen aus dem internationalen Luft- und Schiffsverkehr nicht zu den nationalen Emissionen gezählt. Der internationale Flugverkehr ab Schweizer Flughäfen ist jedoch für eine beträchtliche Menge an Treibhausgasen verantwortlich (5,47 Mio. t CO₂eq 2018). Zwischen 1990 und 2018 nahmen diese Emissionen um 83 % zu, was den bedeutendsten Anstieg im Vergleich zu allen anderen vorstehend erwähnten Verkehrsmitteln darstellt.

⁸ Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt nach dem Absatzprinzip. Im Hinblick auf den Strassenverkehr werden dabei die insgesamt an Schweizer Tankstellen verkauften Treibstoffe berücksichtigt. Da Benzin in der Schweiz in der Regel billiger war als in den Nachbarländern, tankten viele Grenzgänger in der Schweiz, was den schweizerischen Absatz erhöhte. Dieser Treibstoffexport wird im Begriff «Tanktourismus» erfasst.

Abb. 6: Treibhausgasemissionen der Personen- und Lastwagen*Fahrleistungen, absolute und spezifische inländischen Emissionen der Personen- und Lastwagen, Schweiz, 1990 bis 2018.*

* Unter Lastwagen sind alle schweren Nutzfahrzeuge (> 3,5 t) zusammengefasst.

** Extrapolation für 2016, 2017 und 2018

Quellen: BAFU (2020a), BFS (2020c)

Beim Strassenverkehr ist ein bedeutender Anstieg der Anzahl Fahrzeuge festzustellen. 2018 umfasste der Bestand der Strassenmotorfahrzeuge⁹ 6,2 Millionen Stück. Seit 1990 wuchs der Bestand um 48 %. Die Personenwagen machen mit 4,6 Millionen im Jahr 2018 etwa drei Viertel aller zugelassenen Fahrzeuge aus. Die Anzahl der Personenwagen erhöhte sich von 1990 bis 2018 um 54 %. Diese Entwicklung ist zum Grossteil auf den bedeutenden Anstieg der Motorisierungsquote (Anzahl Fahrzeuge pro 1000 Einwohner) zurückzuführen (BFS 2020c).

Die Fahrleistung¹⁰ der Personenwagen belief sich 2018 auf 59 344 Millionen Fahrzeugkilometer (+39 % gegenüber 1990) (Abbildung 6). Die Personenwagen stiessen 2018 fast 11 Millionen Tonnen CO₂eq aus. Trotz der Zunahme des Bestands an Personenwagen und der gestiegenen Fahrleistung haben sich die Treibhausgasemissionen der Personenwagen seit 1990 wesentlich weniger (+7 %) erhöht. Diese Entwicklung kann zum Teil mit dem gestie-

genen Anteil der Dieselfahrzeuge, die weniger CO₂ ausstossen, erklärt werden. Im gesamten Sektor ging der Benzinverbrauch zwischen 2000 und 2018 um 38,7 % zurück, während der Dieserverbrauch sich mit +96,4 % fast verdoppelte (Prognos, TEP, Infras 2019a).

Zum Rückgang der spezifischen Emissionen (Emissionen pro zurückgelegter Distanz) hat neben der vermehrten Verwendung von Diesel statt Benzin auch die verbesserte Effizienz der Fahrzeugmotoren beigetragen. So sind die spezifischen Emissionen der Personenwagen von 1990 bis 2018 um 23 % gesunken. Hingegen verzeichneten die spezifischen Emissionen der Lastwagen seit 1990 eine Zunahme um über 2 %, was auf die Zulassung von schwereren Lastwagen auf Schweizer Strassen zurückzuführen ist¹¹ (Abbildung 6).

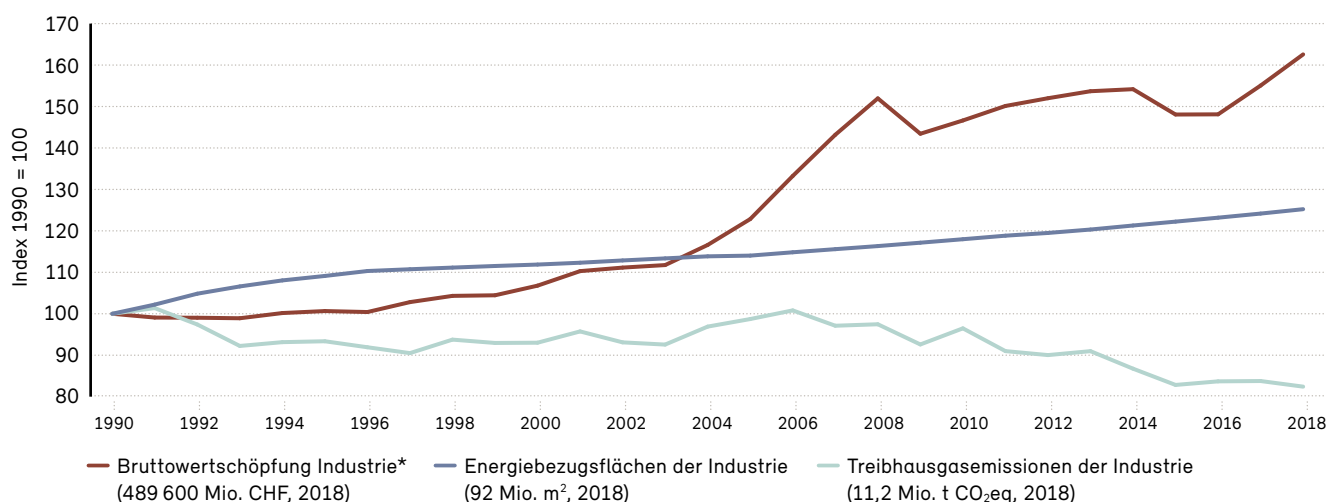
⁹ Strassenmotorverkehr (gemäss BFS) = Personenwagen, Personentransportfahrzeuge, Sachentransportfahrzeuge, landwirtschaftliche Fahrzeuge, Industriefahrzeuge und Motorräder.

¹⁰ Die Fahrleistung bezieht sich auf die in einem Jahr von den Fahrzeugen auf Schweizer Gebiet zurückgelegte Strecke (BFS 2020c).

¹¹ schrittweise Erhöhung der höchstzulässigen Gewichtslimits von 28 t auf 40 t Anfang der 2000er Jahren

Abb. 7: Treibhausgasemissionen der Industrie

Entwicklung der Produktion, der Energiebezugsfläche und der totalen inländischen Treibhausgasemissionen der Industrie, Schweiz, 1990 bis 2018.



* Bruttowertschöpfung Industrie (gemäss Kategorien 05 bis 43 NOGA), in CHF, zu laufenden Preisen. Daten der Produktionswerte nur ab 1995 verfügbar. Werte für 1990 bis 1994 wurden mit Hilfe des BIP ergänzt. Provisorische Werte für 2017 und 2018.

Quellen: BAFU (2020a), BFE (2019b), BFS (2020a)

2.2.2 Industrie

Der Sektor Industrie trug 2018 insgesamt 11 Mio. t CO₂eq (24 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Fast die Hälfte der Emissionen des Sektors stammt aus dem Energieverbrauch der herstellenden Industrie und des Baugewerbes, wobei teilweise auch Abfälle als alternative Brennstoffe verwendet werden. Knapp ein Drittel der Emissionen des Industriesektors ist auf Kehrrichtverwertungsanlagen, Fernwärmeerzeugung und Raffinerien zurückzuführen. Die restlichen Emissionen entstehen vor allem bei der Zementherstellung und in der chemischen Industrie. 2018 dienten mehr als 71 % der verbrauchten Brennstoffmengen im Industriesektor zur Gewinnung von Prozesswärme, während der Energieverbrauch für die Gebäudeheizung eine untergeordnete Rolle spielte (Prognos, TEP, Infras 2019a). Damit wirken sich Variationen in der industriellen Produktion direkt auf die Emissionen dieses Sektors aus.

Innerhalb des Industriesektors können zwischen 1990 und 2018 gegenläufige Trends beobachtet werden. Einerseits nahmen die Emissionen aus dem Energieverbrauch der herstellenden Industrie und des Baugewerbes um 27 % ab. Andererseits stiegen die Emissionen aus Kehrrichtverwertungsanlagen, Fernwärmeerzeugung und Raffinerien

um 33 % an, insbesondere weil mehr Abfälle verbrannt wurden (vor allem als Folge des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums). Schliesslich nahmen die Emissionen aus den industriellen Prozessen¹² um 3 % zu. Insgesamt ergibt sich für den Industriesektor zwischen 1990 und 2018 ein Rückgang der Treibhausgasemissionen um 18 %. Dieser Rückgang zwischen 1990 und 2018 ergab sich, obwohl die Bruttowertschöpfung Industrie und die Energiebezugsfläche¹³ der Industriegebäude (+25 %) zugenommen haben (Abbildung 7). Dies zeigt die gesteigerte Effizienz des Industriesektors, aber auch die Verlagerung energieintensiver Produktionszweige ins Ausland.

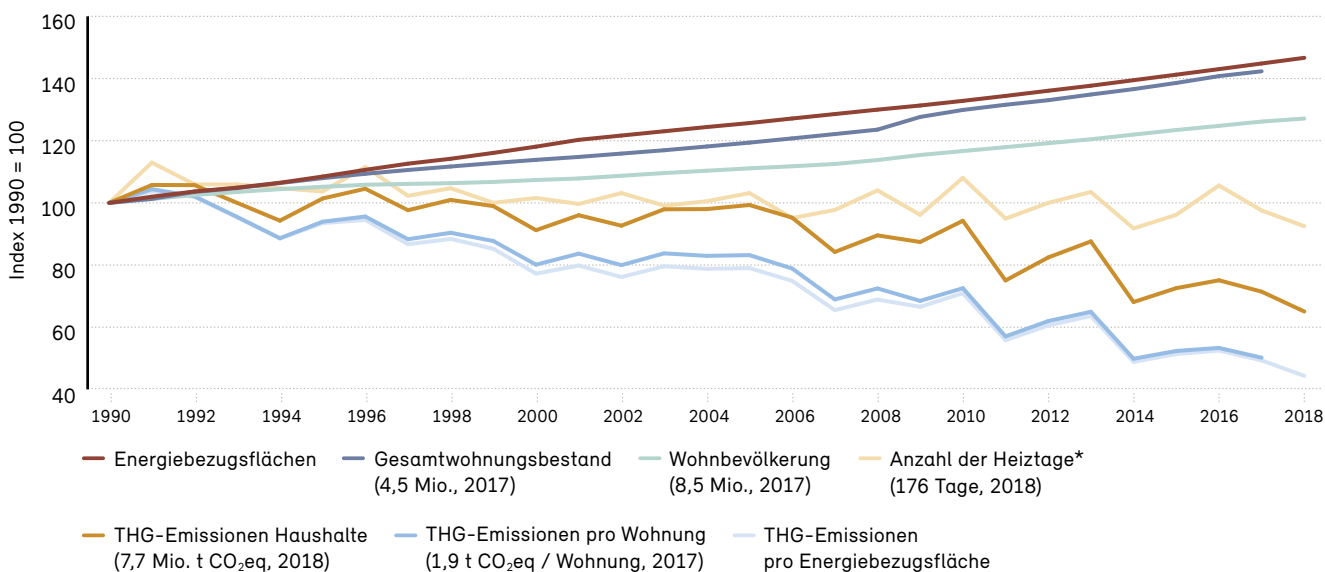
12 Treibhausgasemissionen der industriellen Prozesse ohne energetische Nutzung und ohne Emissionen von synthetischen Gasen

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

Abb. 8: Treibhausgasemissionen der Haushalte

Entwicklung der Bevölkerung, der Anzahl Wohnungen und der Energiebezugsflächen sowie der Anzahl der Heiztage, Schweiz, 1990 bis 2018.

Jährliche inländischen Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Haushalten total und spezifisch (pro Wohnung und pro Energiebezugsfläche).



* Heiztage: Durchschnitt der Daten von Locarno Monti, Genf Cointrin und Zürich Fluntern.

Quellen: BAFU (2020a), BFE (2019e, 2019b), BFS (2020b), MeteoSchweiz (2020a)

2.2.3 Haushalte

Die Haushalte trugen 2018 insgesamt 7,7 Mio. t CO₂eq (17 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Die Emissionen sind im Wesentlichen auf die beheizten Wohnflächen zurückzuführen (die Mobilität der Privathaushalte wird im Sektor Verkehr erfasst). Im Jahr 2018 entfielen 65 % des Energieverbrauchs der Haushalte (inkl. Elektrizität) auf die Beheizung, der Rest auf die Warmwasseraufbereitung (14 %) und auf übrige Haushaltstechnik wie Küchengeräte und Klimatisierung. In der Mehrzahl der Haushalte wird Wärme mittels fossiler Brennstoffe erzeugt (37 % der Energiebezugsfläche mit Heizöl und 26 % mit Erdgas) (Prognos, TEP, Infras 2019a).

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Energieverbrauchs der Haushalte wird anhand der vier Indikatoren Bevölkerungswachstum, Gesamtwohnungsbestand, Energiebezugsfläche und Heiztage¹⁴ interpretiert (Abbildung 8). Zwischen 1990 und 2018 wuchs die Schweizer

Bevölkerung um 27 % (BFS 2020b). Dieses Bevölkerungswachstum führte zu einem steigenden Bedarf an Energie. Noch stärker ausgeprägt als das Bevölkerungswachstum war die Zunahme der Energiebezugsfläche der Wohnungen (+47 %) (BFE 2019b). Trotz dem Bevölkerungswachstum und der zunehmenden Energiebezugsfläche sind die Emissionen der Haushalte zwischen 1990 und 2018 um 35 % gesunken. Dieser Trend ist in erster Linie auf den Ersatz von Heizöl- durch Erdgasheizungen zurückzuführen, die weniger Emissionen freisetzen (Zunahme der mit Erdgas beheizten Energiebezugsfläche um 92 % zwischen 2000 und 2018). Weiter hat die Zunahme der nicht fossil beheizten Energiebezugsflächen (+532 % für Wärmepumpen, +580 % für Solarenergie, +40 % für Holz zwischen 2000 und 2018) zur Reduktion der Emissionen beigetragen (Prognos, TEP, Infras 2019a). Schliesslich haben die verbesserten Isolationsstandards und die energetischen Sanierungen der Gebäude zu Energieeinsparungen geführt. In der Summe ging der Energieverbrauch für die Wohnungsbeheizung zwischen 2000 und 2018 trotz bedeutend angestiegener Energiebezugsfläche um 13 % zurück (Prognos, TEP, Infras 2019a).

¹⁴ Tage, an denen die mittlere Aussentemperatur 12 °C oder weniger beträgt und an denen normalerweise geheizt wird, um eine Raumtemperatur von 20 °C aufrechtzuerhalten.

Die jahreszeitlichen Witterungsbedingungen sind ein weiterer Faktor, der sich auf die Emissionen auswirkt und die starken jährlichen Schwankungen der Emissionen erklärt (Abbildung 8). In der Schweiz besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen den CO₂-Emissionen und der Anzahl der Heiztage (BAFU 2018a). In langen, kalten Wintern ist der Heizbedarf höher als in kurzen, milden Wintern. Die niedrigen Emissionswerte für 2011 und 2014 respektive die hohen Werte für 2010 und 2013 verdeutlichen dieses Phänomen. In der Schweiz nimmt die Anzahl der Heiztage tendenziell ab (vgl. Kap. 6.2)

2.2.4 Landwirtschaft

Der Sektor Landwirtschaft trug 2018 insgesamt 6,6 Mio. t CO₂eq (14 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen der Schweiz bei. In der Landwirtschaft wird vor allem CH₄ und N₂O emittiert. Die Landwirtschaft ist auch für den grössten Teil (83 % bzw. 66 %) der gesamten inländischen CH₄- und N₂O-Emissionen verantwortlich. Ihr Beitrag zu den totalen CO₂-Emissionen (Energieverbrauch der Land- und Forstwirtschaft) ist hingegen gering.

Die CH₄-Emissionen werden durch die Verdauung der Nutztiere¹⁵ und den Einsatz von Hofdünger verursacht. 82 % der CH₄-Emissionen der Landwirtschaft und 68 % der totalen CH₄-Emissionen sind auf die Nutztierhaltung zurückzuführen. Die N₂O-Emissionen stammen hauptsächlich aus dem Abbau von Handels- und Hofdünger auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Für den gesamten Landwirtschaftssektor ist zwischen 1990 und 2018 ein Rückgang der CH₄-Emissionen um 9,9 % festzustellen (Abbildung 9). Dieser Rückgang ist vor allem von 1990 bis in die frühen 2000er-Jahre erfolgt, seither sind die Emissionen mehr oder weniger konstant geblieben. Der Rindviehbestand, insbesondere der Milchkuhbestand, hat sich seit 1990 verringert (Abbildung 10). Dagegen ist die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh seit 1990 dank der Fortschritte bei der Züchtung um 44 % gestiegen. Eine erwachsene Milchkuh produzierte 2018 durchschnittlich rund 7000 kg Milch pro Jahr. Diese erhöhte Leistung hat auch zu einem Anstieg der CH₄-Emissionen pro Milchkuh geführt (+17 %), hingegen haben die spezifischen CH₄-Emissionen (d. h. Emissionen

pro Milchmenge) zwischen 1990 und 2018 um 19 % abgenommen (Abbildung 10).

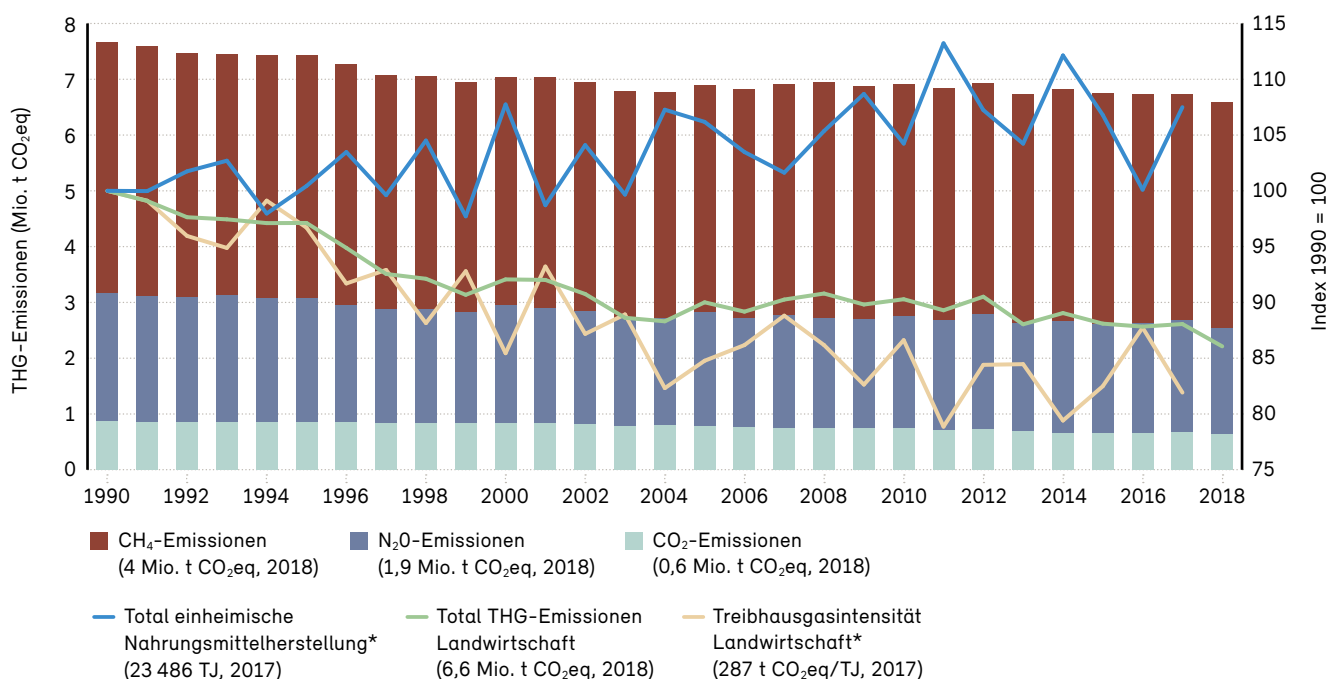
Der seit 1990 verzeichnete Rückgang der N₂O-Emissionen des Landwirtschaftssektors um 17 % spiegelt den verringerten Einsatz von Handels- und Hofdünger wider. Dieser Rückgang ist vor allem bis zur Jahrtausendwende erfolgt; die Emissionen haben sich danach weitgehend stabilisiert. Der Einsatz von Handels- und Hofdünger wird durch zahlreiche Bestimmungen in der Umweltgesetzgebung des Bundes geregelt. Mineraldünger dürfen nur ausgetragen werden, wenn der Hofdünger nicht ausreicht. Die landwirtschaftliche Nutzfläche blieb im beobachteten Zeitraum relativ konstant, d. h. der Rückgang der ausgebrachten Düngermengen erfolgte unabhängig davon.

Der Landwirtschaftssektor hat seine gesamten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 14 % verringert. Die einheimische Nahrungsmittelproduktion (in TJ) schwankt von Jahr zu Jahr stark, steigt aber tendenziell leicht an (bei einer Abnahme der tierischen Nahrungsmittel und einer Zunahme der pflanzlichen Nahrungsmittel). Die Treibhausgasintensität der landwirtschaftlichen Produktion (ausgedrückt in t CO₂eq pro TJ) hat gegenüber 1990 abgenommen (Abbildung 9).

¹⁵ Die CH₄-Emissionen ergeben sich aus den Verdauungsprozessen des Rindviehs (enterische Fermentation).

Abb. 9: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft

Entwicklung der inländischen CO_2 -, N_2O - und CH_4 -Emissionen der Landwirtschaft (linke Skala). Indexierte Entwicklung der einheimischen (tierischen und pflanzlichen) Nahrungsmittelproduktion, der gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen und der spezifischen Treibhausgasemissionen (Treibhausgasintensität) der Landwirtschaft (rechte Skala), Schweiz, 1990 bis 2018.

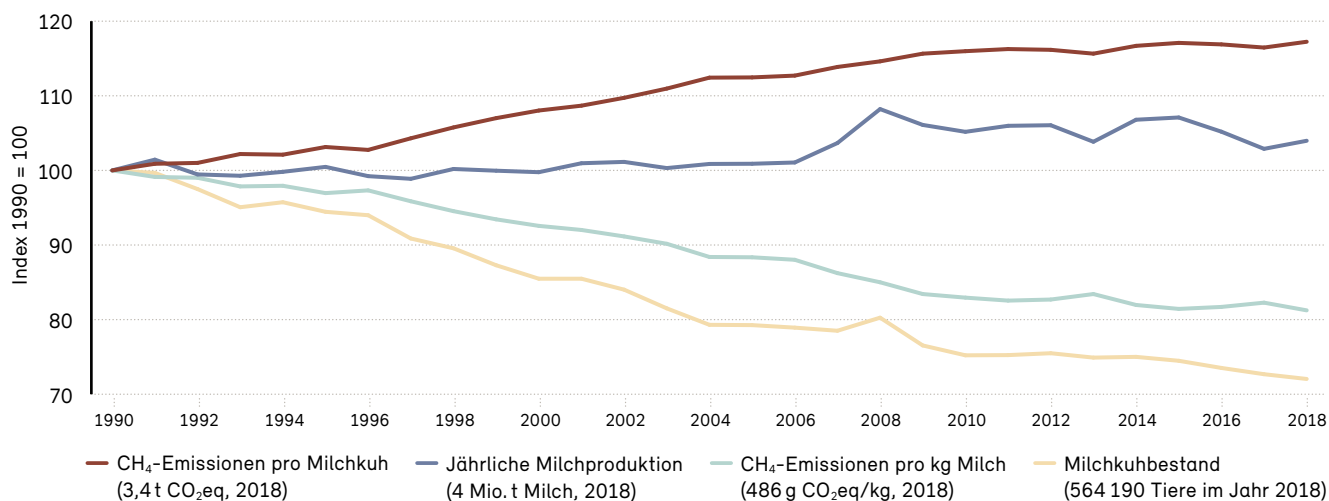


* Daten 2018 noch nicht verfügbar.

Quellen: BAFU (2020a), SBV (2019)

Abb. 10: CH_4 -Emissionen der Nutztierhaltung

Entwicklung des Bestands an erwachsenen Milchkühen, der jährlichen Milchproduktion und der CH_4 -Emissionen (aus der Verdauung der Milchkühe) pro Milchkuh und pro kg Milch, Schweiz, 1990 bis 2018.



* Ohne Milch, die von nicht zu den Milchkühen zählenden Kühen produziert wird (nahezu 8 % im Jahr 2018).

Quelle: BAFU (2020a)

2.2.5 Dienstleistungen

Dienstleistungen trugen 2018 insgesamt 3,5 Mio. t CO₂eq (7,6 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Tourismus, Banken und Versicherungen sind die wichtigsten Teilbereiche in der Schweiz. Die energiebedingten inländischen Emissionen (so wie sie im nationalen Inventar berücksichtigt werden) sind zu einem grossen Teil auf die Beheizung der genutzten Liegenschaften zurückzuführen und somit kurzfristig von den Witterungsbedingungen geprägt (Prognos, TEP, Infras 2019a).

Die Erhöhung der Bruttowertschöpfung Dienstleistungen ist ein Zeichen für die starke wirtschaftliche Entwicklung (Abbildung 11). Als Folge dieses Aufschwungs sind auch die Energiebezugsflächen deutlich angewachsen (+32 % zwischen 1990 und 2018) (BFE 2019b). Von meteorologischen Einflüssen abgesehen tendieren die Emissionen selbst in ausgeprägten Wachstumsphasen (z. B. 2004–2008) nach unten. Wie bei den Haushalten, ist es auch bei den Dienstleistungen gelungen, die Emissionen dank vermehrtem Einsatz nicht fossiler Brennstoffe und verbesserter Energieeffizienz (Sanierung bestehender Gebäude) zu senken.

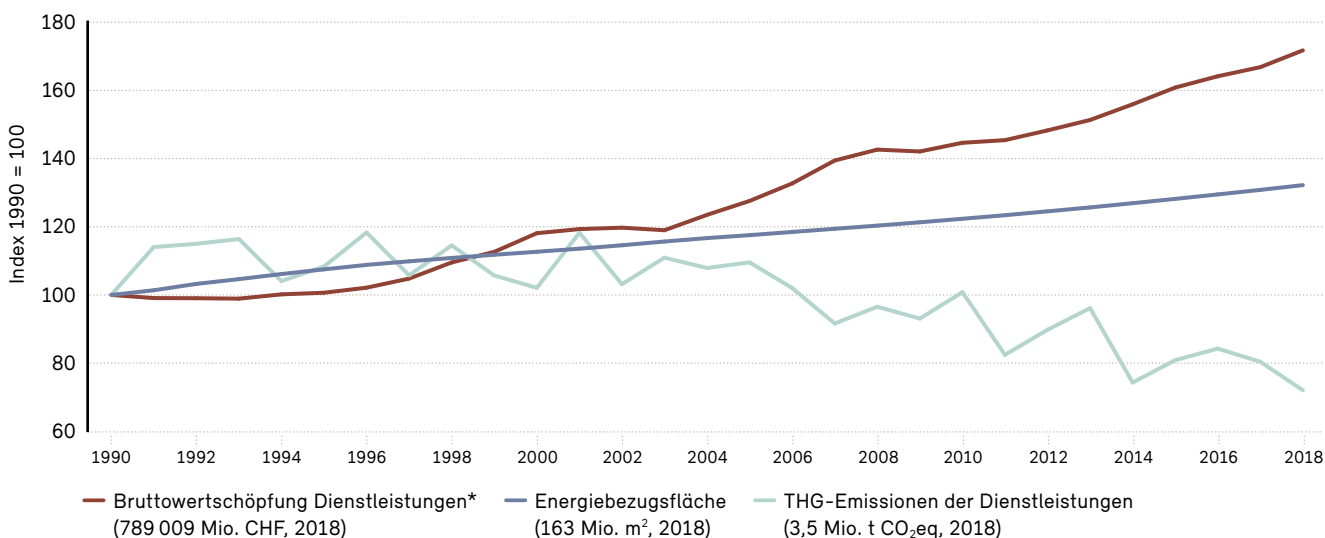
2.2.6 Abfall

Der Sektor Abfall trug 2018 insgesamt 0,7 Mio. t CO₂eq (1,4 %) zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Der Beitrag des Abfallsektors ist auch deshalb relativ gering, weil die Emissionen der verbrannten Abfälle dem Sektor Industrie angerechnet werden. Die bedeutendste Quelle im Abfallsektor stellen gegenwärtig die CH₄-Emissionen aus Abfalldeponien dar (0,3 Mio. t CO₂eq im Jahr 2018, Abbildung 12). Aus diesen entweichen trotz der angebrachten Gas auffangeinrichtungen beträchtliche CH₄-Emissionen. Seit dem Verbot der Deponierung brennbarer Abfälle im Jahr 2000 werden Siedlungsabfälle nicht mehr abgelagert, sondern Kehrrichtverwertungsanlagen zugeführt. Die Abbauprozesse der früher deponierten Siedlungsabfälle gehen aber weiter und die dabei entstehenden CH₄-Emissionen nehmen nur allmählich ab. 2018 betrugen die CH₄-Emissionen der Deponien noch 39 % der 1990 freigesetzten Menge.

Die zweitmeisten Emissionen im Abfallsektor entstehen bei der Abwasserreinigung (0,29 Mio. t CO₂eq im Jahr 2018, Abbildung 12), wo sich CH₄- und N₂O-Emissionen bilden. Seit 1990 stiegen die Emissionen der Kläranla-

Abb. 11: Treibhausgasemissionen der Dienstleistungen

Entwicklung der Energiebezugsfläche und der inländischen Treibhausgasemissionen der Dienstleistungen sowie des Produktionswerts der erbrachten Dienstleistungen, Schweiz, 1990 bis 2018.

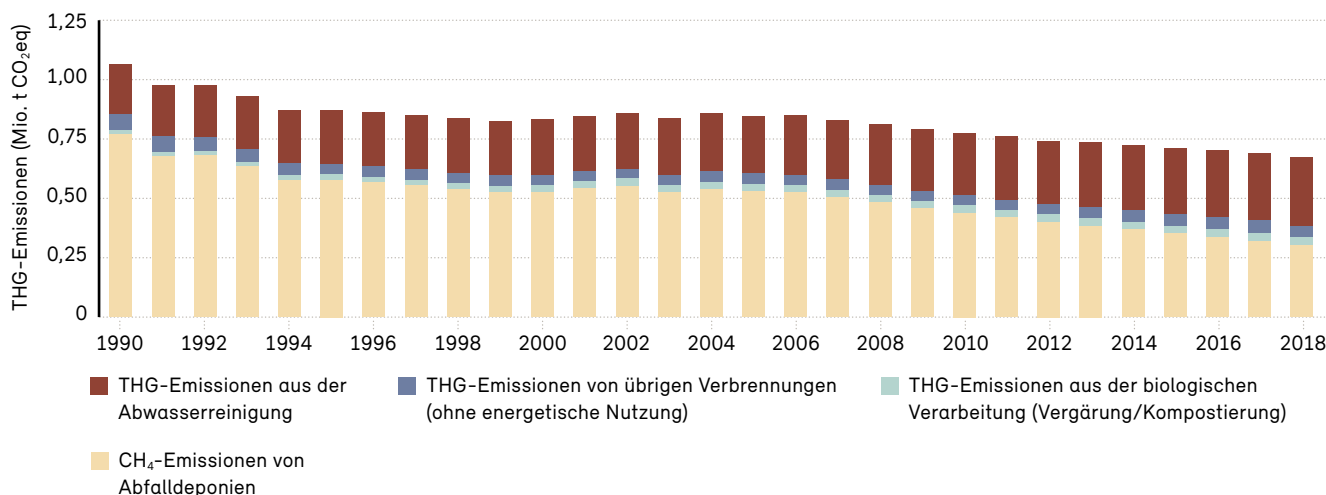


* provisorische Werte für 2017 und 2018. Bruttowertschöpfung Dienstleistung (gemäss Kategorien 45–98 NOGA) in CHF, zu laufenden Preisen. Daten der Produktionswerte nur ab 1995 verfügbar. Werte für 1990–1994 wurden mit Hilfe des BIP ergänzt.

Quellen: BAFU (2020a), BFE (2019b), BFS (2020a)

Abb. 12: Treibhausgasemissionen des Abfallsektors

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen des Abfallsektors, Schweiz, 1990 bis 2018.



Quelle: BAFU (2020a)

gen um 37 % an, hauptsächlich wegen des Bevölkerungswachstums. Die restlichen Emissionen des Abfallsektors sind auf die biologische Verarbeitung (Vergärung in Biogasanlagen und Kompostierung) sowie auf übrige Verbrennungen (ohne energetische Nutzung)¹⁶ zurückzuführen.

2.2.7 Landnutzung (inkl. Wald)

Im Landnutzungssektor werden vor allem Kohlenstoffflüsse erfasst, die mit der Nutzung der Wälder und Böden (Forst- und Landwirtschaft) oder durch Landnutzungsänderungen (z. B. Häuserbau auf ehemaligen Ackerflächen) freigesetzt oder gebunden werden. Auch die Bilanz nicht forst- oder landwirtschaftlich genutzter Flächen (z. B. von Moorbiotopen oder Siedlungsräumen) wird im Sektor Landnutzung erfasst.

Anders als in den übrigen Sektoren, in denen ausschliesslich Emissionen stattfinden, kann der in den Böden und in der Vegetation gespeicherte Kohlenstoff auch zunehmen und auf diese Weise eine sogenannte Senke darstellen. Die Quellen und Senken werden für sechs Landnutzungskategorien erhoben: Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und unproduktive Flächen (Abbildung 13). Zusätzlich wird der in Holzprodukten aus Schweizer Holz

enthaltene Kohlenstoff eingerechnet.¹⁷ Grössere jährliche Schwankungen entstehen aufgrund der variierenden Witterungsverhältnisse während der Vegetationsperiode sowie aufgrund von Managemententscheidungen wie dem Ausmass der Holzernte.

Kohlendioxid (CO₂) ist in diesem Sektor das bei Weitem wichtigste Treibhausgas. Zu einem kleinen Teil tragen Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) aus Bränden, Humusverlust, Stauseen und entwässerten Moorböden zu den Emissionen bei.

Die Wälder dominieren die Treibhausgasbilanz der Schweizer Landnutzung (Abbildung 13). Die Bilanz setzt sich zusammen aus der CO₂-Aufnahme beim Baumwachstum und aus der Freisetzung von CO₂ infolge der Waldnutzung (Ernte) und von natürlichen Abgängen. Hinzu kommen die Veränderungen des im Totholz, in der Streu und im Waldboden gespeicherten Kohlenstoffs. Die Waldbewirtschaftung in der Schweiz führte im Zeitraum seit 1990 in den meisten Jahren zu einer grossen Kohlenstoffsenke. Diese Waldsenke ist jedoch begrenzt, da die Umtriebszeiten

¹⁷ Gemäss den Verpflichtungen der Schweiz unter dem Kyoto-Protokoll wird in der zweiten Verpflichtungsperiode (2013–2020) die Senkenleistung der Waldbewirtschaftung gegenüber einem Referenzwert (Forest Management Reference Level) angerechnet. Aufgrund heutiger Schätzungen ist davon auszugehen, dass die anrechenbare Senkenleistung über die gesamte Periode im Bereich von wenigen Hunderttausend Tonnen CO₂-Äquivalenten zu liegen kommt.

¹⁶ z. B. Verbrennung von Klärschlamm und landwirtschaftlichen Abfällen

(Bäume später nutzen) nicht beliebig erhöht werden können, wenn der Wald nachhaltig genutzt werden soll. Die Freisetzung grosser CO₂-Mengen im Jahr 2000 ist auf den Sturm Lothar zurückzuführen, der schwere Schäden in den Wäldern verursachte. Eine Zwangsnutzung bzw. erhöhte Erntemengen spiegeln sich auch in den Jahren 1990 (Sturm Vivian), 2001, 2006, 2007 und 2014 wider. Mit Ausnahme des Jahres 2000 übertrafen Waldsenke und Holznutzung jeweils die Gesamtemissionen aus den anderen Landnutzungskategorien. Eine klimapolitisch wie ökologisch sinnvolle Waldbewirtschaftung wird erreicht, wenn das zuwachsende Holz in sogenannter Kaskadennutzung zuerst für langlebige, hochwertige Holzprodukte und anschliessend als Energieträger genutzt wird. Holzprodukte, z. B. Bauholz oder Möbel, stellen im Zeitraum seit 1990 mit Ausnahme des Jahres 2013 eine Kohlenstoffsenke dar (d. h. in jedem Jahr wurde mehr Holz in neuen Produkten verbaut als aus alten freigesetzt). Die Grösse der jährlichen Senke aus Holzprodukten nahm in den letzten Jahren tendenziell ab.

Die Art der landwirtschaftlichen Nutzung von Acker- und Grünland beeinflusst den Kohlenstoffgehalt in den Böden. Beispielsweise begünstigt Pflügen den Abbau des im Humus enthaltenen Kohlenstoffs, während das Ausbringen von Hofdünger oder das Belassen von Ernteres-

ten auf den Feldern den Kohlenstoffgehalt erhöht. Einen Sonderfall nehmen trockengelegte ehemalige Moore ein. Diese fruchtbaren Böden setzen bei intensiver landwirtschaftlicher Nutzung hohe Mengen an Treibhausgasen (CO₂ und N₂O) frei.

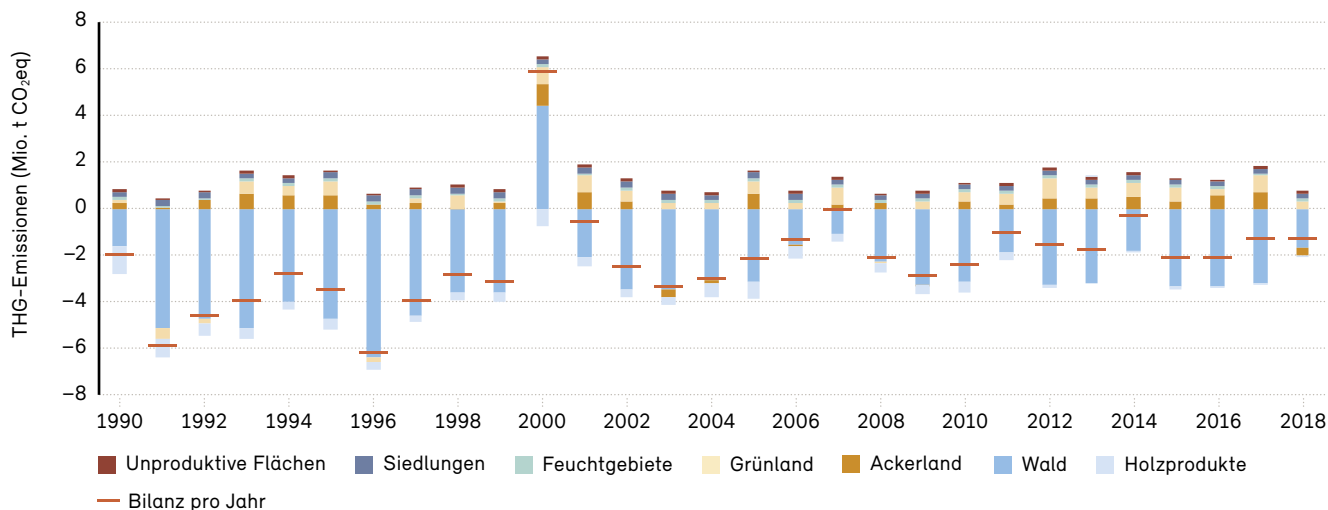
Feuchtgebiete nehmen heute nur noch einen kleinen Teil der Landesfläche ein. In Hochmooren und zum Teil auch in Flachmooren wurde im Verlauf der letzten Jahrtausende die abgestorbene Biomasse in Torf umgewandelt. Auf diese Weise sind grosse Kohlenstoffspeicher entstanden. Da beinahe alle Hochmoore durch die Folgen früherer Nutzung (v. a. Drainagen) beeinträchtigt sind, wurde der Aufbau von Torf gestoppt und aus den ehemaligen Senken sind vielerorts CO₂-Quellen geworden.

Die Erschliessung neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen führte seit 1990 zu vergleichsweise geringen Emissionen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn bei Bauarbeiten Bäume gefällt werden müssen.

Unproduktive Flächen wie Fels, Schutthalden und Gletschervorfelder tragen wenig Vegetation und keine oder nur schwach entwickelte Böden. Diese Flächen spielen deswegen in der Kohlenstoffbilanz eine vernachlässigbare Rolle.

Abb. 13: Treibhausgasbilanz der Landnutzung (inkl. Wald)

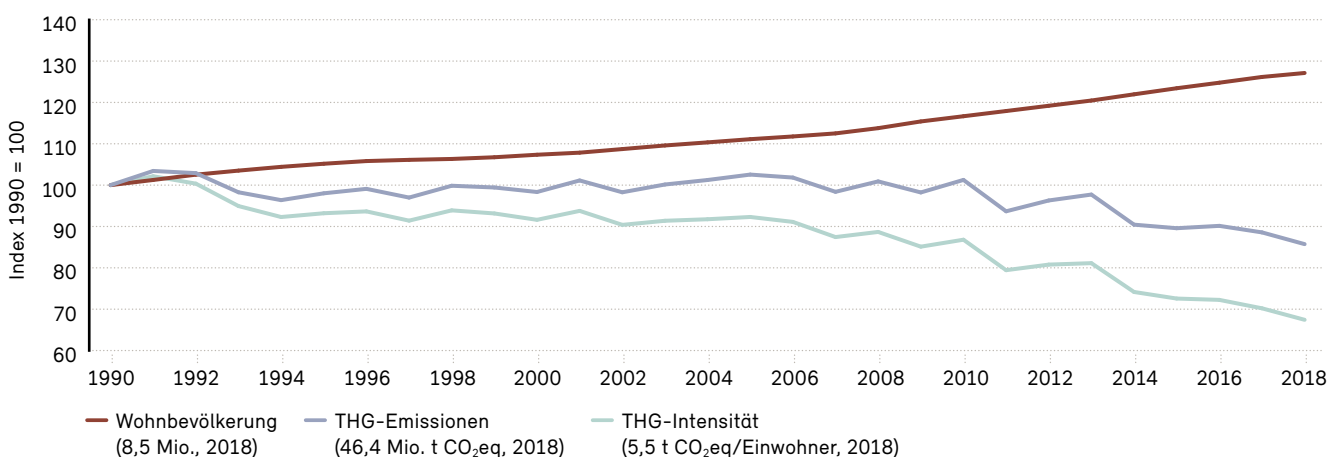
Jährliche Quellen (positive Werte) und Senken (negative Werte) infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderungen, Schweiz, 1990 bis 2018, dargestellt für sechs Landnutzungskategorien sowie für Holzprodukte. Der Wert «Bilanz» entspricht nicht der anrechenbaren Senkenleistung unter dem Kyoto-Protokoll (vgl. Fussnote 17).



Quelle: BAFU (2020a)

Abb. 14: Treibhausgasemissionen und Bevölkerung

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Verhältnis zur Bevölkerung 1990 bis 2018. Die Emissionen der internationalen Luftfahrt sind nicht berücksichtigt.



2.3 Treibhausgasintensität

Die Menge der Treibhausgasemissionen bezogen auf sozioökonomische Grössen wie z.B. Bevölkerungsentwicklung, Bruttoinlandprodukt (BIP¹⁸) oder Endenergieverbrauch wird als Treibhausgasintensität bezeichnet.

Die Treibhausgasemissionen der Schweiz haben in den letzten Jahren leicht abgenommen (Abbildung 14) und lagen 2018 14 % tiefer als 1990. Im gleichen Zeitraum nahm die Bevölkerung deutlich zu (+27 %). Die Treibhausgasintensität der Bevölkerung (Emissionen pro Kopf) verringerte sich damit von 8,1 t CO₂eq im Jahr 1990 auf 5,5 t CO₂eq im Jahr 2018. Dies entspricht einem Rückgang um 33 %. Ein Teil dieses Rückgangs ist auf technische Verbesserungen zurückzuführen. Zur Abnahme beigetragen hat aber auch die zunehmende Verlagerung von Emissionen ins Ausland (vgl. Kap. 2.5).

Auch der Anstieg des BIPs hat zu keiner Erhöhung der inländischen Treibhausgasemissionen geführt (Abbildung 15). Die Treibhausgasintensität pro Franken BIP ging im Zeitraum 1990–2018 um 56 %, d. h. von 120 auf 66 g

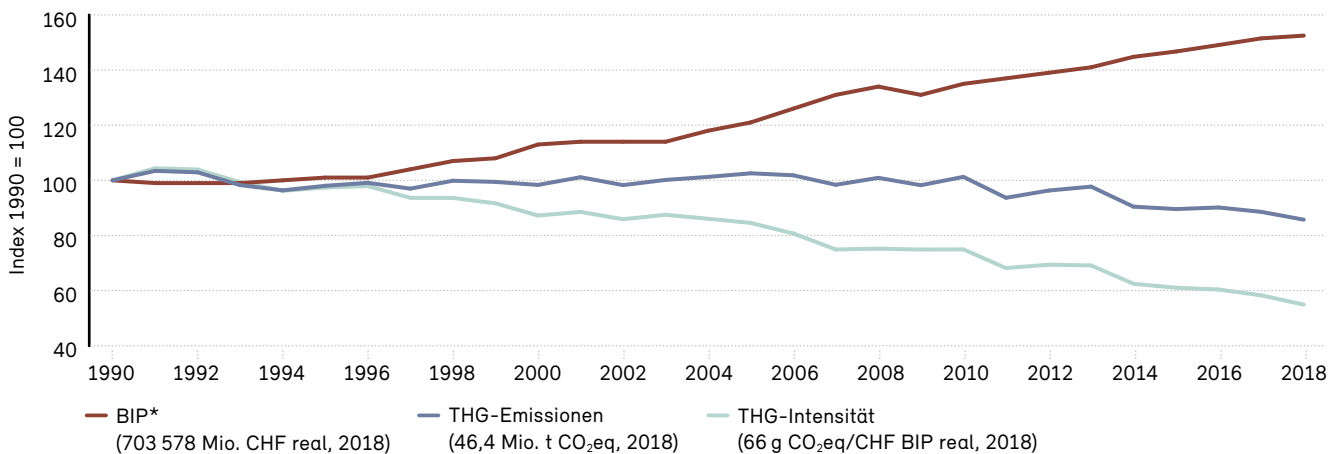
CO₂eq / CHF zurück. Ursachen dafür sind die gestiegene Energieeffizienz, die Auslagerung der energieintensiven Güterherstellung und die fortschreitende Umwandlung der Industrie- in eine Dienstleistungsgesellschaft. 2015 beschäftigte der Dienstleistungssektor mehr als 75 % der erwerbstätigen Bevölkerung und trug über 73 % an die Bruttowertschöpfung bei (BAFU 2018a).

Trotz deutlichem Bevölkerungswachstum, BIP-Anstieg und Zunahme der Energiebezugsfläche war der Endenergieverbrauch 2018 nur leicht höher als 1990 (Abbildung 16). Die sinkende Treibhausgasintensität des Endenergieverbrauchs (– 18 % zwischen 1990 und 2018) ist in erster Linie auf die verbesserte Energieeffizienz, den Umstieg von Erdöl auf Erdgas sowie den vermehrten Einsatz von Elektrizität und nicht-fossilen Energieträgern zurückzuführen (BFE 2019d).

¹⁸ Das Bruttoinlandprodukt (BIP) ist ein Mass für die wirtschaftliche Leistung (Wertschöpfung) einer Volkswirtschaft im Verlauf eines Jahres. Es misst den Wert der im Land erzeugten Güter und Dienstleistungen, sofern sie nicht als Vorleistungen für die Erzeugung anderer Güter und Leistungen dienen.

Abb. 15: Treibhausgasemissionen und BIP

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Verhältnis zum Bruttoinlandprodukt 1990 bis 2018. Die Emissionen der internationalen Luftfahrt sind nicht berücksichtigt.

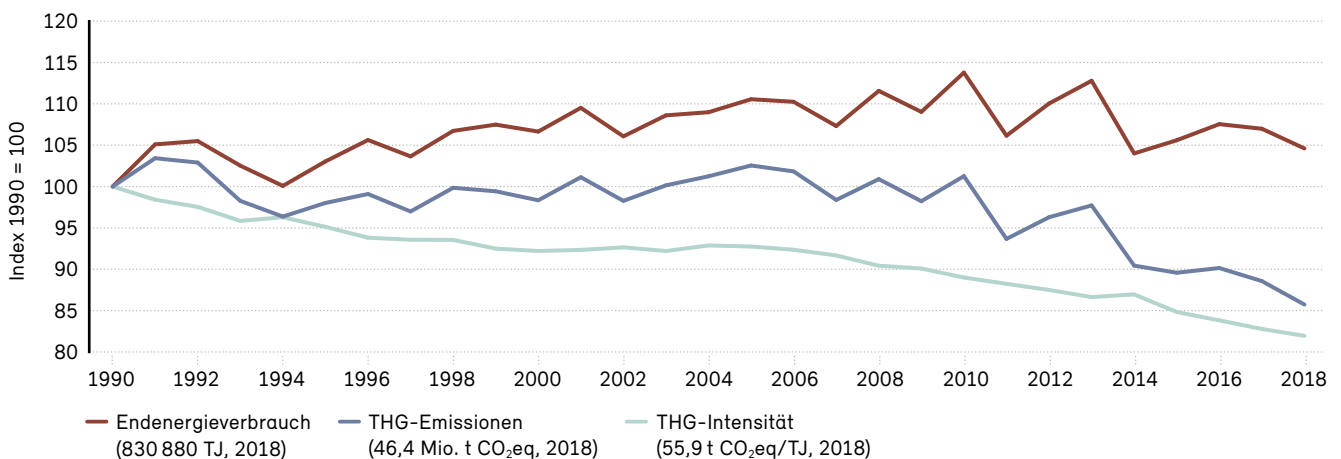


* BIP in Mio. CHF, real, zu Preisen des Vorjahres, Referenzjahr 2010.

Quellen: BAFU (2020a), SECO (2020)

Abb. 16: Treibhausgasemissionen und Endenergieverbrauch

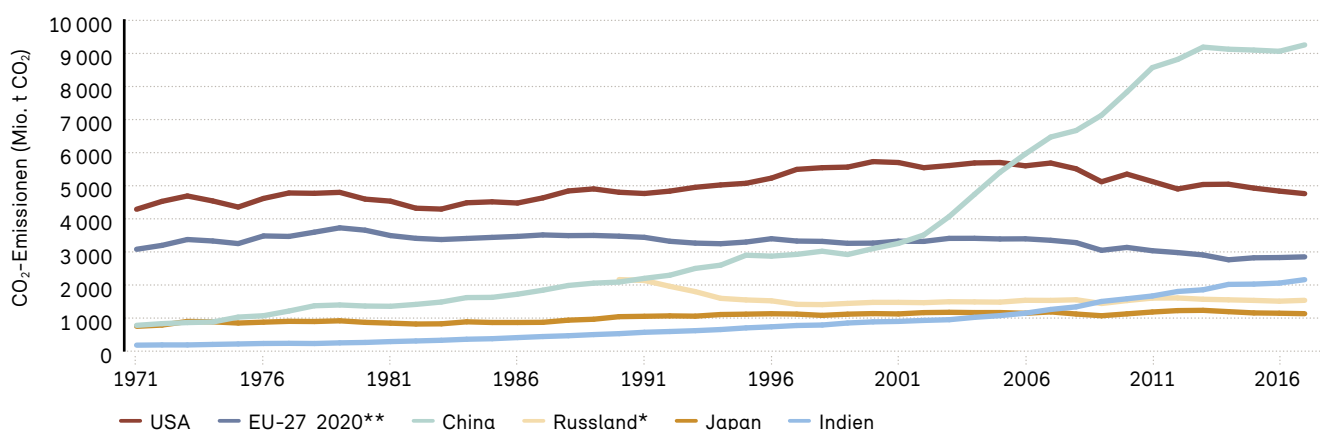
Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Verhältnis zum Endenergieverbrauch, 1990 bis 2018. Die Emissionen der internationalen Luftfahrt sind nicht berücksichtigt.



Quellen: BAFU (2020a), BFE (2019e)

Abb. 17: Energiebedingte CO₂-Emissionen im internationalen Vergleich

Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in den fünf wichtigsten Emissionsländern (China, USA, Indien, Russland und Japan) und der EU-27.



* Vor 1990 liegen für die Emissionen Russlands keine Daten vor.

** Einige Daten von Ländern der EU-27_2020 zwischen 1971 und 1990 sind nicht verfügbar: die Daten von Estland, Lettland, Kroatien und Litauen sind nur seit 1990 verfügbar und die Daten von Slowenien sind seit 1986 verfügbar.

Quelle: IEA (2019)

2.4 Inländische Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich

Nicht nur in der Schweiz, auch global tragen die CO₂-Emissionen den grössten Anteil zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei. 2017 beliefen sich die weltweit ausgestossenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe auf 32,8 Milliarden Tonnen und lagen damit mehr als doppelt so hoch wie 1971 und rund 40 % höher als im Jahr 2000. 90 % aller Emissionen des Energiesektors wurden 2015 als CO₂ emittiert. 44 % der globalen, energiebedingten CO₂-Emissionen entstanden 2017 bei der Verbrennung von Kohle, 35 % bei der Verbrennung von Erdölprodukten und 21 % bei der Verbrennung von Erdgas. Hauptemissionsquellen mit 41 % Anteil am Total sind Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung (IEA 2019).

Die sechs grössten CO₂-Emittenten sind China, die USA, die Europäische Union (EU-27_2020¹⁹), Indien, Russland und Japan. Sie waren 2017 für 66 % der weltweiten Emis-

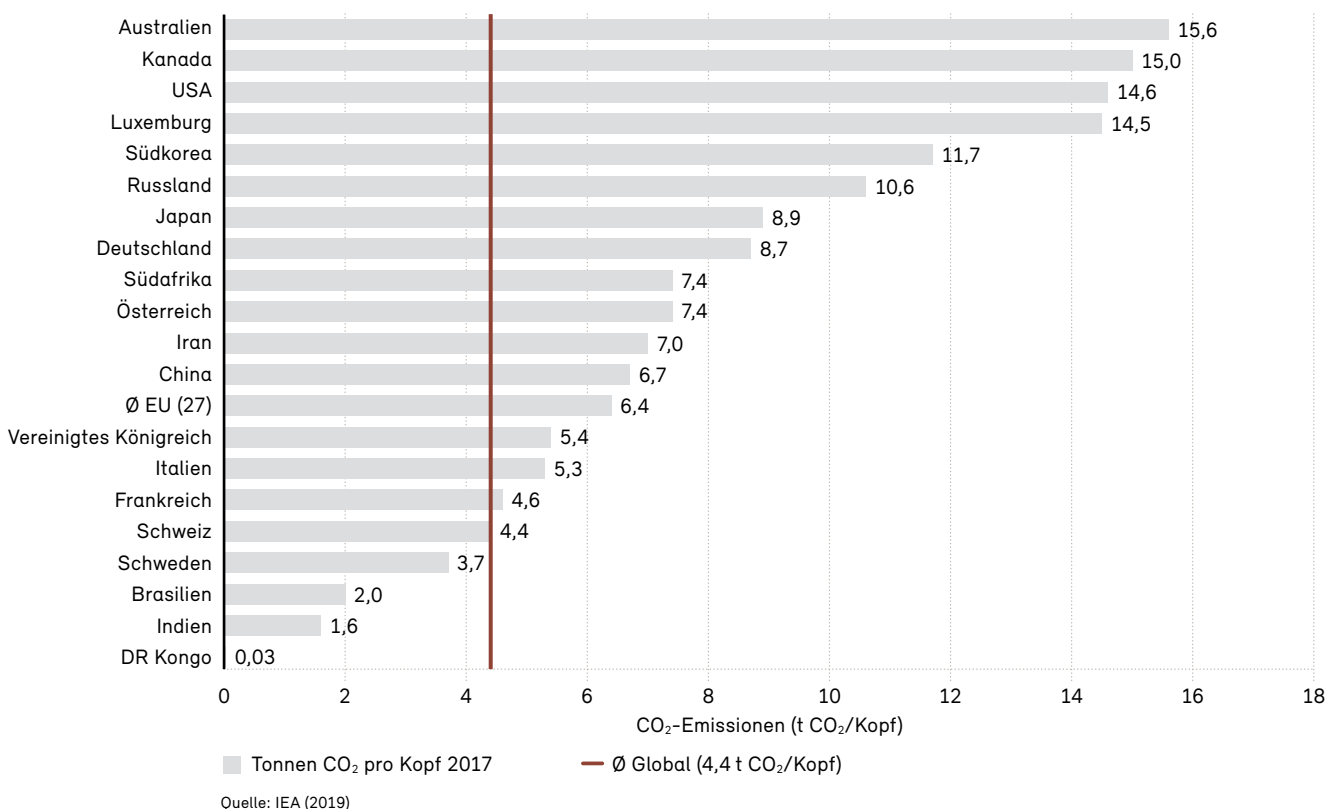
sionen verantwortlich (IEA 2019). Dominierender Emittent war China mit einem Anteil von 28 %.

Bis 2000 waren die Staaten nach Anhang I²⁰ zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention, UNFCCC), insbesondere die USA, für den Grossteil der CO₂-Emissionen verantwortlich. Seit 2000 wurden dagegen auch asiatische Länder, allen voran China und Indien, zu wichtigen CO₂-Emittenten (IEA 2019). Die Emissionen Chinas und Indiens haben sich aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung in dieser Periode besonders stark erhöht (Abbildung 17). Die zunehmende industrielle Produktion, aber auch der wachsende Lebensstandard in diesen beiden bevölkerungsreichen Ländern, hat zu einem markanten Anstieg des Energieverbrauchs geführt.

In den USA, der EU-27_2020 und Russland liegen die Emissionen heute unter dem Niveau von 1990 (Abbildung 17). Infolge des wirtschaftlichen Niedergangs nach der Auflö-

19 EU-27_2020 = Deutschland, Italien, Frankreich, Spanien, Niederlande, Belgien, Griechenland, Österreich, Portugal, Finnland, Schweden, Irland, Dänemark, Luxemburg, Tschechische Republik, Estland, Ungarn, Lettland, Polen, Slowakische Republik, Slowenien, Bulgarien, Kroatien, Zypern, Litauen, Malta und Rumänien.

20 Länder nach Anhang I der Klimarahmenkonvention: Australien, Belarus, Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Kroatien, Lettland, Liechtenstein, Litauen, Luxemburg, Malta, Monaco, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Russland, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Ukraine, Vereinigtes Königreich, Zypern und USA.

Abb. 18: CO₂-Emissionen pro Kopf im Ländervergleich*CO₂-Emissionen pro Kopf aus der Verbrennung fossiler Energieträger für ausgewählte Länder im Jahr 2017.*

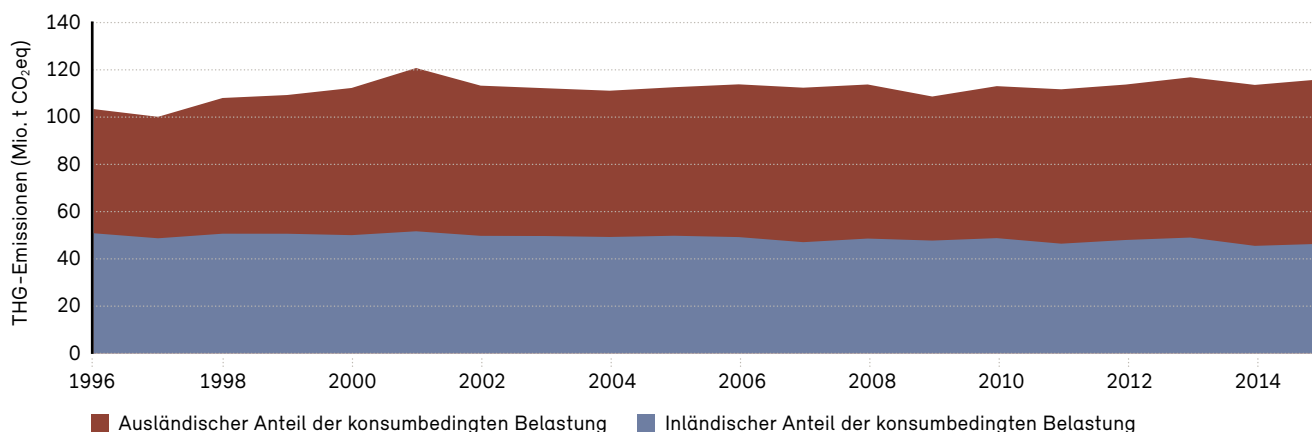
sung der Sowjetunion (UdSSR) sind die CO₂-Emissionen in Russland von 1990 bis 1998 um 35 % gesunken und verharren seither auf diesem tieferen Niveau. Die EU hat es geschafft, ihre Emissionen insbesondere durch ihr Emissionshandelssystem (EHS) zu senken (EEA 2019). Dabei wurde ein wesentlicher Teil der Verminderung seit 2005 durch die Emissionsverringerungen bei der Energieerzeugung erreicht. Nicht EHS-Emissionen, wie Emissionen aus den Sektoren Verkehr, Gebäude oder Landwirtschaft, fallen in der EU unter die Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Decision). Unter der Lastenteilungsverordnung hat der Gebäudesektor am meisten zur Emissionsverminderung beigetragen, während die Verkehrsemissionen gestiegen sind. Trotz seinen im weltweiten Vergleich bedeutenden Emissionen rangiert Brasilien nicht unter den grössten Emittenten, da die obigen Daten sich nur auf die Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern beziehen. Der grösste Teil der brasilianischen Emissionen ist durch die Abholzung von Regenwald verursacht.

Die CO₂-Emissionen pro Kopf betrugen 2017 im weltweiten Durchschnitt 4,4 Tonnen CO₂ (Abbildung 18). Die höchsten Pro-Kopf-Emissionen haben erdölproduzierende Länder wie Katar mit 30,4 Tonnen CO₂/Kopf. Auch Kanada und die USA (15 bzw. 14,6 t CO₂/Kopf) zählen zu den Ländern mit sehr hohen Pro-Kopf-Emissionen. Die Volksrepublik China (6,7 t CO₂/Kopf), die nach absoluten Emissionen Platz 1 belegt, stösst pro Kopf der Bevölkerung ungefähr gleich viel CO₂ aus wie die EU-27_2020 (6,4 t CO₂/Kopf). Indien liegt mit 1,6 Tonnen CO₂/Kopf weit unter dem Weltdurchschnitt. Die Demokratische Republik Kongo (0,03 t CO₂/Kopf) befindet sich, gemeinsam mit zahlreichen afrikanischen Staaten, unter den Ländern mit den geringsten Pro-Kopf-Emissionen. Die Schweiz liegt mit 4,4 t CO₂/Kopf²¹ ziemlich genau auf dem Weltdurchschnitt.

21 Im Gegensatz zur Angabe in Unterkapitel 2.3 (5,6 t CO₂eq/Kopf) sind hier nur die CO₂-Emissionen berücksichtigt.

Abb. 19: Inländischer und ausländischer Anteil am konsumbedingten Treibhausgas-Fussabdruck

Entwicklung des Treibhausgas-Fussabdrucks, aufgeteilt in die im Inland und im Ausland verursachten, konsumbedingten Emissionen 1996 bis 2015.



Quelle: Frischknecht et al. (2018)

2.5 Durch den Schweizer Konsum verursachte Emissionen

In den bisherigen Unterkapiteln (2.1, 2.2, 2.3 und 2.4) wurden nur die Emissionen aus inländischen Quellen in Betracht gezogen, da diese für die Erstellung des nationalen Treibhausgasinventars gemäss Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll massgebend sind (UNFCCC 2014). Die von der Schweiz ausserhalb ihrer Grenzen verursachten Emissionen werden dabei nicht berücksichtigt. Die nationale Emissionsbilanz von Volkswirtschaften wie der Schweiz, die viele Güter und Dienstleistungen aus dem Ausland beziehen, zeigt aber nur einen Teil der Realität: Die Emissionen aus der Produktion der importierten Güter erscheinen im Treibhausgasinventar des Herstellerlandes. Abbildung 19 zeigt die Inland- und Ausland-Anteile des konsumbedingten Treibhausgas-Fussabdrucks²² der Schweiz. Bei dieser Betrachtungsweise machen die Emissionen, die durch den Schweizer Konsum im Ausland verursacht werden, etwa 70 % der gesamten durch die Schweiz verantworteten Emissionen aus (Stand 2015).

Die inländischen Emissionen pro Einwohner in der Schweiz sind im Vergleich zu anderen Industrieländern relativ nied-

rig (vgl. Kap. 2.4). Der Vergleich der CO₂-Emissionen aufgrund der Endnachfrage²³ erlaubt eine andere Sicht auf die Verantwortung der einzelnen Länder als Verursacher von Treibhausgasemissionen (Abbildung 20), da damit auch die durch den inländischen Konsum im Ausland verursachten Emissionen berücksichtigt werden.

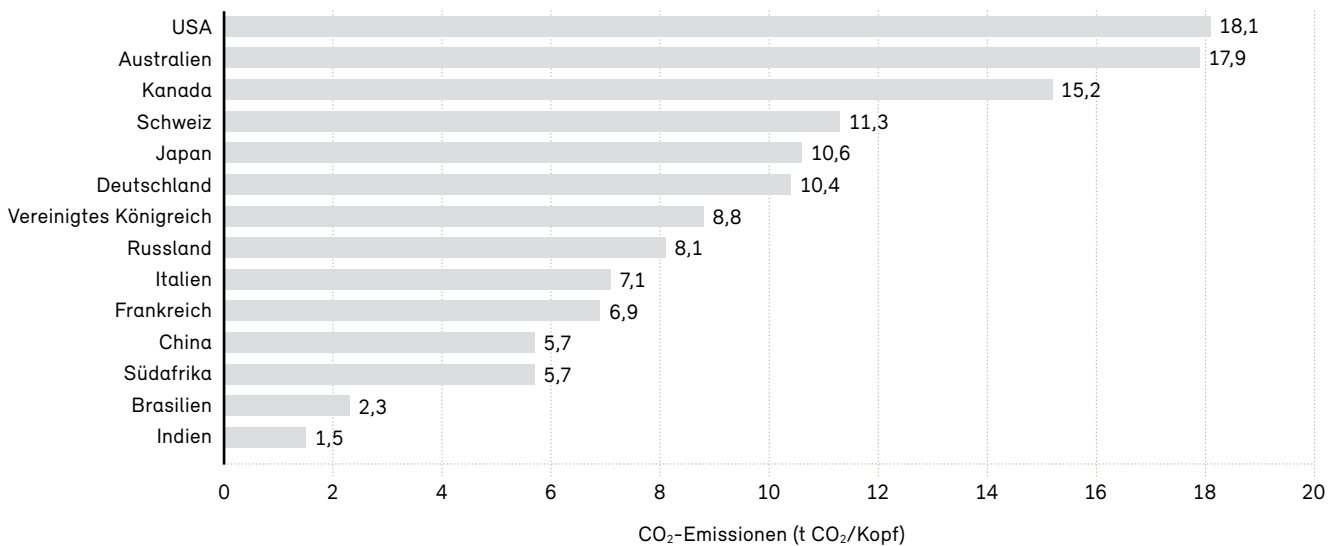
Im Jahr 2015, für welches die jüngsten Daten für einen Ländervergleich verfügbar sind, beliefen sich die aus der Endnachfrage der Schweiz stammenden CO₂-Emissionen auf 11,3 t pro Kopf. China, das in absoluten Zahlen sehr hohe Emissionen verursacht, weist im Vergleich dazu einen vergleichsweise niedrigen Pro-Kopf-Wert von 5,7 t CO₂ auf. Der Grund dafür ist, dass China mehr Emissionen für die Produktion von Exportgütern verursacht als es für die Produktion von Importgütern verantwortet. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass westliche Länder mit einem hohen Konsumniveau massgeblich für die Emissionen bestimmter Schwellenländer verantwortlich sind.

²² Der Treibhausgas-Fussabdruck ist die Gesamtmenge der Emissionen, die ein Land durch seine Endnachfrage verantwortet (BAFU 2018b). Einerseits werden die durch importierte Güter sowie von in der Schweiz lebenden Personen (z.B. Ferienreisen) im Ausland verursachten Emissionen ebenfalls berücksichtigt. Gleichzeitig werden die von Touristen oder von Exportgütern im Inland verursachten Emissionen abgezogen.

²³ CO₂-Emissionen der Endnachfrage = inländische CO₂-Emissionen nach Produktion (Emissionen, die von Haushalten und Wirtschaftszweigen im Gebiet verursacht werden) – inländische, exportierte CO₂-Emissionen + ausländische, importierte CO₂-Emissionen.

Abb. 20: Ländervergleich der CO₂-Emissionen aus der Endnachfrage

CO₂-Emissionen pro Kopf aus der Endnachfrage im Jahr 2015. Die Zahlen berücksichtigen nur die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe, ohne Treibstoffe für die internationale Luft- und Schifffahrt und Emissionen aus der Zementproduktion.



Quelle: IEA (2019)

3 Beobachtete Entwicklung des Klimas in der Schweiz

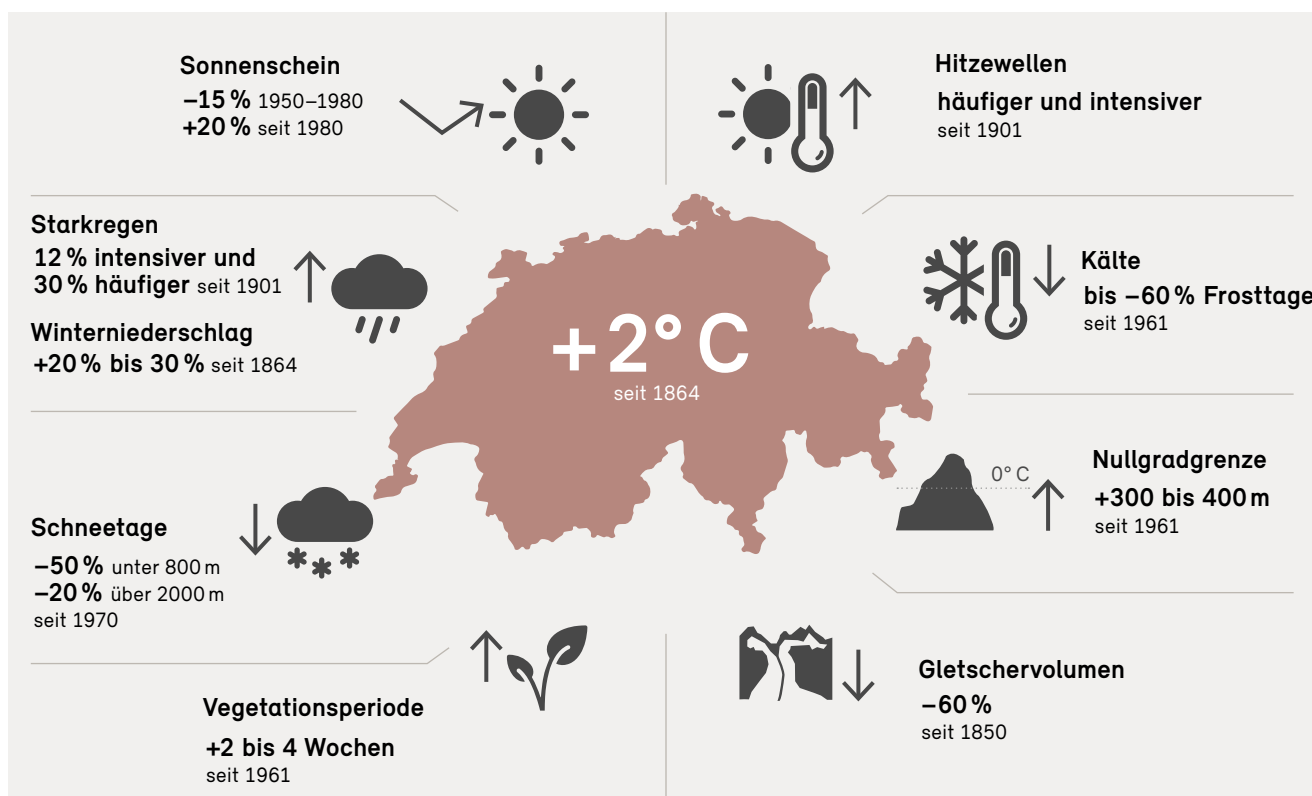
Das Klima der Schweiz hat sich seit Beginn der landesweiten Messungen 1864 bis heute um durchschnittlich rund 2°C erwärmt. Der menschliche Treibhausgasanstoss ist für die beobachtete Erwärmung hauptverantwortlich. Das Klima wird aber durch mehr als nur die mittlere Temperatur beschrieben. Gestützt auf Beobachtungsdaten aus den letzten 156 Jahren zeigt dieses Kapitel, inwieweit sich andere Indikatoren unter dem Einfluss des Klimawandels verändert haben.

Kap. 3.1 beschreibt die Entwicklung der durchschnittlichen, jährlichen und jahreszeitlichen Temperaturen. Neben den Durchschnittswerten haben sich aber auch Temperaturextreme und das Auftreten von Frost- und Tautagen markant verändert (Kap. 3.2). Weniger ausgeprägt, aber ebenfalls klar erkennbar, sind Veränderungen

von Niederschlägen und Trockenheit (Kap. 3.3). Deutliche Spuren hat der Klimawandel beim Verlauf der Nullgradgrenze und der Schneebedeckung hinterlassen (Kap. 3.4). Weniger eindeutig sind die Trends bei Sonnenscheindauer und Bewölkung (Kap. 3.5). Es gibt aber auch Klimaindikatoren, bei welchen eine Veränderung zu erwarten, aber bisher in den Beobachtungsdaten noch nicht sichtbar ist. Auf diese wird in Kap. 3.6 eingegangen.

Abbildung 21 gibt einen Überblick über die bisherige Veränderung einiger wichtiger Klimaindikatoren. Hitzewellen sind seit Beginn des 20. Jahrhunderts deutlich häufiger und intensiver geworden. Im Gegenzug sank die Anzahl der Frosttage seit 1961 um 60 % (NCCS 2018). Die Nullgradgrenze stieg im gleichen Zeitraum um 300 bis 400 m an. Besonders deutlich sichtbar wird die Erwärmung am

Abb. 21: Bisher beobachtete Veränderungen des Schweizer Klimas (Stand 2019)



Rückzug der Gletscher in den Alpen. Sie haben seit 1850 über 60 % ihres Volumens verloren. Im Flachland ist der Klimawandel anhand der Auswirkungen auf die Vegetation klar erkennbar. Die Vegetationsperiode²⁴ dauert heute 2 bis 4 Wochen länger als noch in den 1960er-Jahren (NCCS 2018).

Auch beim Niederschlag zeigen sich deutliche Veränderungen. Die Winterniederschläge sind in den letzten gut 150 Jahren ergiebiger geworden. Durch die Erwärmung fällt der Niederschlag häufiger als Regen anstelle von Schnee, wodurch das Ausmass und die Dauer der Schneebedeckung abgenommen haben. Die Anzahl Schneetage ist seit Anfang der 1970er-Jahre in Lagen über 2000 m um etwa 20 % und in tiefen Lagen unter 800 m gar um rund 50 % zurückgegangen. Zudem sind Starkregen heute in allen Jahreszeiten häufiger und intensiver als noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts (CH2018 2018, NCCS 2018).

Die Sonnenscheindauer, die eng mit der Bewölkung zusammenhängt, hat zwischen 1950 und 1980 um rund 15 % abgenommen, stieg ab 1980 um gut 20 % an und erreicht heute wieder Werte wie zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Scherrer & Begert 2019).

Referenzperioden – Messlatten für die Veränderung von Klimaindikatoren

Angaben zur Veränderung von Temperatur und Niederschlag werden oft als Abweichungen zum Mittelwert einer bestimmten Referenzperiode dargestellt. Dadurch sind Messdaten verschiedener Regionen und Höhenlagen untereinander besser vergleichbar. Die Referenzperioden werden von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert. Aktuell wird der Zeitraum 1961 – 1990 als Referenzperiode (Bezugswert) für Veränderungen des Klimas und der Zeitraum 1981 – 2010 als Referenzperiode für das aktuelle Klima empfohlen (WMO 2015; WMO 2007). In Anlehnung an die Veröffentlichungen des Weltklimarats IPCC²⁵ (z. B. IPCC 2018) verwendet MeteoSchweiz zur Beschreibung der langjährigen Temperaturent-

wicklung zusätzlich die Referenzperiode 1871 – 1900 (Begert et al. 2018) als Annäherung an vorindustrielle Bedingungen mit vernachlässigbarem Ausstoss von menschlich verursachten Treibhausgasen. In den im vorliegenden Bericht präsentierten Auswertungen ist die jeweils verwendete Referenzperiode angegeben. Bei den dargestellten klimatologischen Daten handelt es sich um Messungen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz. Wo immer möglich werden homogene Datenreihen verwendet (Begert et al. 2005). Homogene Datenreihen 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 Messensors. Aussagen über die Signifikanz eines Trends basieren auf dem 95 %-Perzentil.

3.1 Mittlere Jahres- und Saisontemperatur

Die Schweiz wurde im Laufe der vergangenen rund 150 Jahre in allen Landesteilen deutlich wärmer: die bodennahe Lufttemperatur stieg im landesweiten Jahresdurchschnitt im Vergleich zur vorindustriellen Referenzperiode um rund 2 °C an (Stand Ende 2019, Abbildung 22)²⁶. Der Trend für das Schweizer Temperaturmittel in dieser Periode liegt bei +0,14 °C pro Jahrzehnt und ist damit etwa doppelt so gross wie der global gemittelte Trend. Die Erwärmung hat sich weltweit und in der Schweiz seit Mitte der 1980er-Jahre beschleunigt. Wenn nur Messungen ab 1961 betrachtet werden, verläuft die Temperaturzunahme in der Schweiz mit +0,39 °C pro Jahrzehnt dreimal so schnell wie der lineare Trend über die gesamte Messperiode seit 1864. Diesen linearen Trends sind natürliche Klimaschwankungen überlagert (Abbildung 22).

Die Hauptursache für den beobachteten Anstieg, sowohl global wie regional, ist der anthropogene Treibhausgasausstoss. Vor allem drei Ursachen werden für den stärkeren Temperaturanstieg in der Schweiz im Vergleich zum globalen Mittel verantwortlich gemacht: Erstens die Entfernung der Schweiz zum sich langsamer erwärmenden

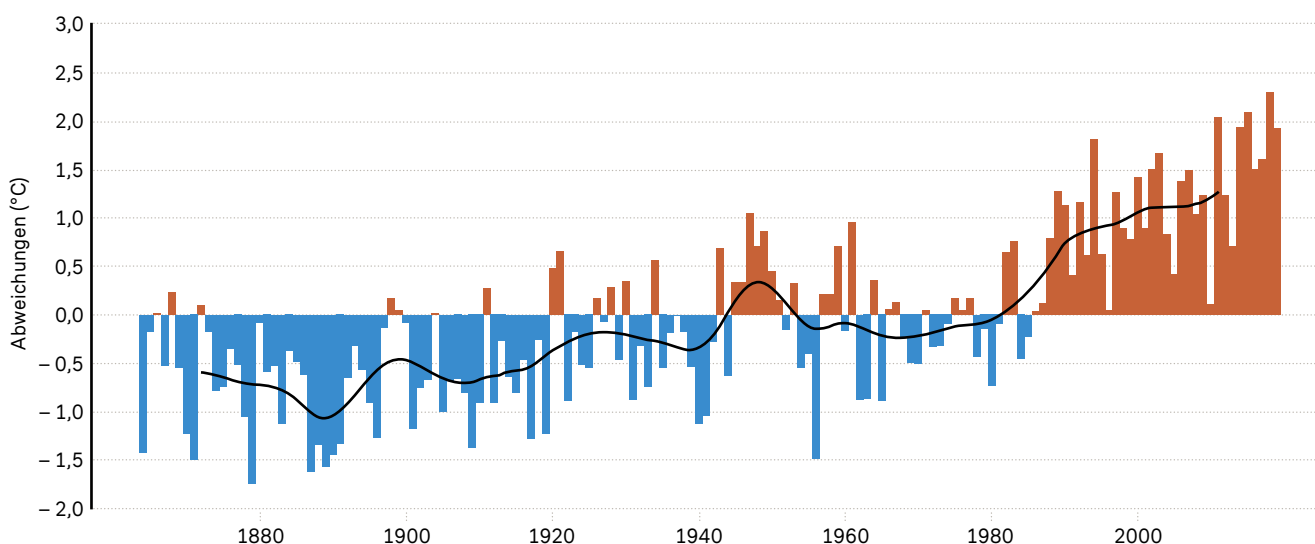
24 Für die verwendete Definition vgl. Zubler et al. (2014).

25 Intergovernmental Panel on Climate Change.

26 Der jeweils aktuelle Stand der Erwärmung lässt sich der MeteoSchweiz-Webseite entnehmen: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html>

Abb. 22: Langjähriger Verlauf der Jahrestemperatur, gemittelt über die ganze Schweiz

Jährliche Abweichung der Temperatur von der Norm 1961 bis 1990 (rot = positive Abweichungen, blau = negative Abweichungen) für die Jahre 1864 bis 2019. Die schwarze Kurve zeigt das 20-jährige, gewichtete Mittel.



Quelle: MeteoSchweiz (2020b), Begert & Frei (2018)

Ozean im Westen (kontinentalere Lage), zweitens die relative Nähe zu den sich stärker erwärmenden Polarregionen und drittens mögliche regionale Rückkoppelungseffekte, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Rückgang der alpinen Schneebedeckung. Schnee reflektiert einen erheblichen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung direkt ins Weltall zurück. Liegt weniger Schnee, nimmt die Erdoberfläche mehr Sonnenenergie auf, die in Wärme umgesetzt wird.

Als Folge der Erwärmung häufen sich in der Schweiz auch die überdurchschnittlich warmen Jahre. Seit dem Jahr 1986 liegen alle Jahresmitteltemperaturen über der Referenzperiode 1961 – 1990. Die fünf wärmsten Jahre der Messreihe von 1864 bis 2019 wurden nach 2010 gemessen (Abbildung 23). Die Temperaturentwicklung in der Schweiz ist kein Sonderfall – auch die globale Mitteltemperatur zeigt in jüngster Zeit eine Häufung überdurchschnittlich warmer Jahre.

In den letzten 30 Jahren lag die durchschnittliche Schweizer Jahrestemperatur rund 1 °C über der Normperiode 1961 – 1990. In der Zeit vor 1990 war ein Jahresüberschuss von 1 °C gegenüber der Referenzperiode sehr aussergewöhnlich. Heute hingegen sind Temperaturen, die

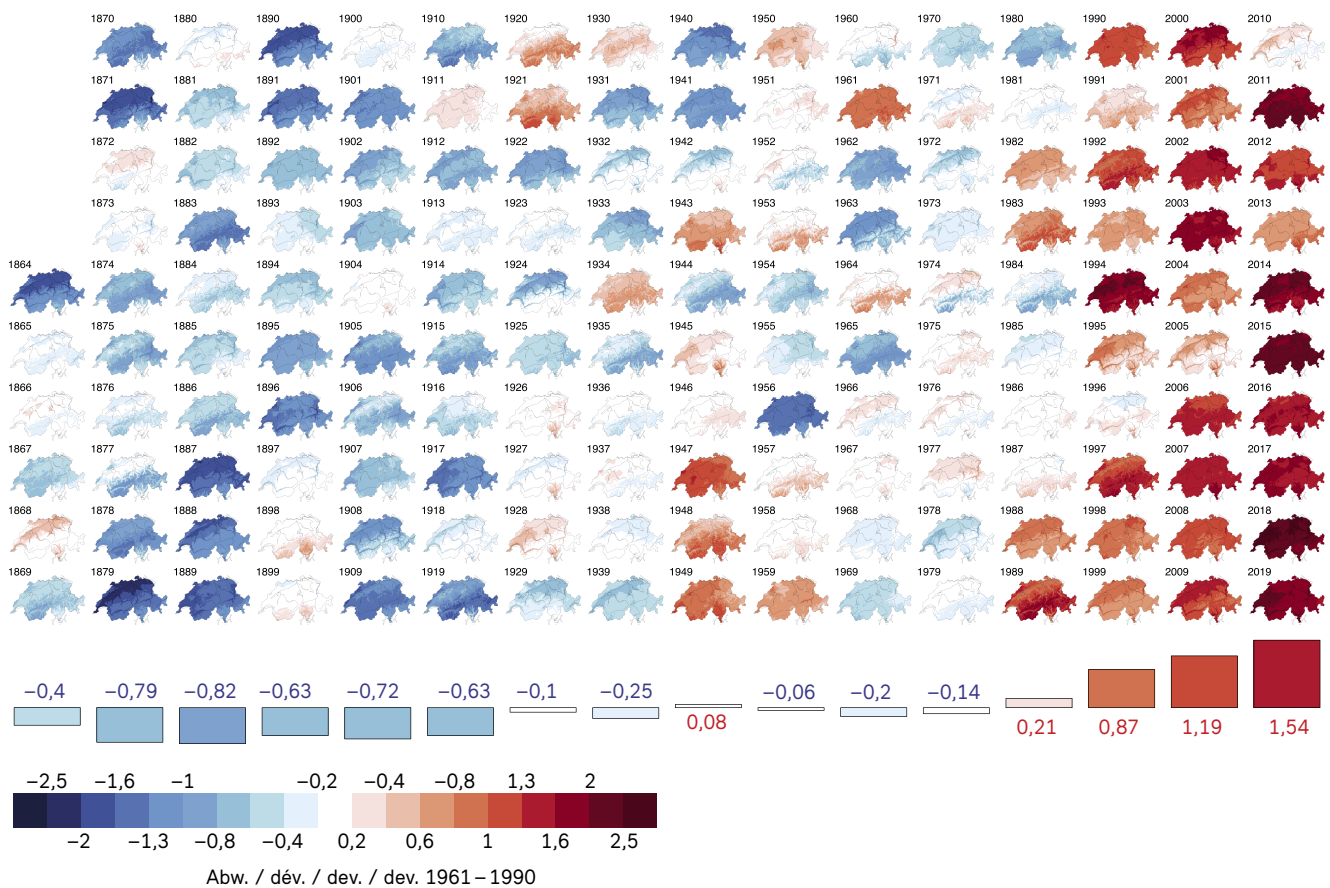
früher als extrem galten, zum Durchschnitt geworden. Gleichzeitig sind kühle Jahre mit Abweichungen von 0,5 °C oder mehr unter der Norm 1961 – 1990 aus dem heutigen Klima der Schweiz verschwunden. Seit 1990 sank die landesweite Jahrestemperatur auch in den kältesten Jahren nicht mehr unter die Norm 1961 – 1990 (Abbildung 23).

Bei der Betrachtung der saisonalen Temperaturentwicklung zeigt sich, dass der Sommer (Mittel über Juni, Juli, August) und der Herbst (September, Oktober, November) über die gesamte Messperiode 1864 – 2019 mit +0,14 °C pro Jahrzehnt die stärkste Temperaturzunahme aufweist. Im Frühling (März, April, Mai) liegt die Erwärmung bei +0,13 °C pro Jahrzehnt und im Winter (Dezember, Januar, Februar) bei +0,12 °C pro Jahrzehnt (Abbildung 24).

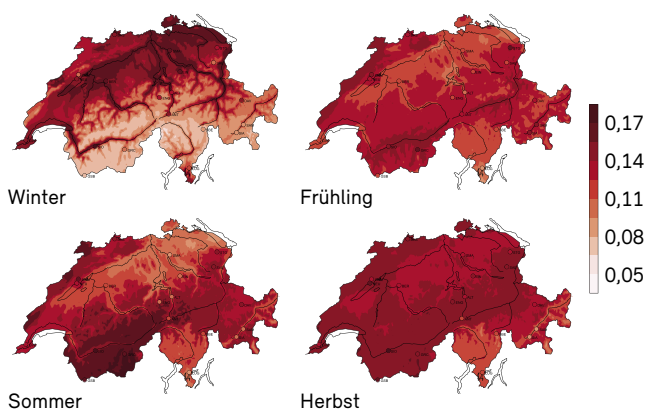
Die deutliche Erwärmung seit den 1980er-Jahren ist auch bei den Jahreszeiten deutlich sichtbar. Den stärksten Trend mit +0,54 °C pro Jahrzehnt im Zeitraum ab 1961 weisen die Sommermonate auf, knapp gefolgt vom Frühling mit +0,46 °C pro Jahrzehnt. Deutlich tiefer liegen die Erwärmungsraten ab 1961 im Winter mit +0,31 °C pro Jahrzehnt und im Herbst mit +0,26 °C pro Jahrzehnt.

Abb. 23: Jährliche Temperaturabweichungen vom Mittel 1961 bis 1990 in der Schweiz

Jahre unter dem Mittel sind blau, Jahre über dem Mittel rot dargestellt. Im unteren Teil der Grafik sind die Abweichungen der Jahrzehnte als eingefärbte Säulen dargestellt. Daten seit Messbeginn 1864 bis 2019.



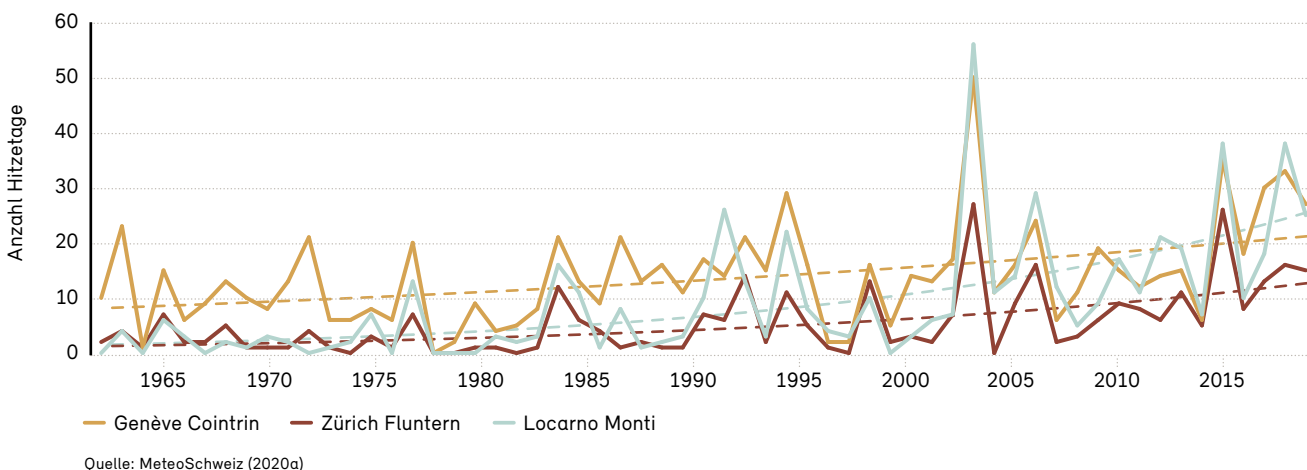
Source : MétéoSuisse (2020a)

Abb. 24: Veränderung der Saisontemperatur 1864 bis 2019 in °C pro Jahrzehnt

Quelle: MeteoSchweiz (2020a)

Abb. 25: Hitzetage

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



3.2 Weitere Temperaturindikatoren

Die Erwärmung des Klimas in der Schweiz erfolgt je nach Region und Höhenlage unterschiedlich. Für die meisten Indikatoren werden stellvertretend für die verschiedenen Klimaregionen der Schweiz die Messstationen Locarno/Monti (Südschweiz, 367 m ü. M.), Genève/Cointrin (Westschweiz, 420 m ü. M.) und Zürich/Fluntern (Nordostschweiz, 556 m ü. M.) betrachtet. Für die Darstellung der Situation im Hochgebirge wird zudem auf die Stationen Säntis (2502 m ü. M.), Piz Corvatsch (3302 m ü. M.) und Jungfraujoch (3580 m ü. M.) zurückgegriffen.

3.2.1 Hitzetage und Tropennächte

Mit den Durchschnittstemperaturen nehmen auch die Hitzeextreme zu. Die klimabedingte Zunahme von Hitze ist eine Belastung für die Gesundheit von Mensch (vgl. Kap. 6.1.1) und Tier.

Die jährliche Anzahl Hitzetage (Tage mit einer Maximaltemperatur von 30 °C und mehr) hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen (Abbildung 25). Während im Tessin in den 1960er-Jahren im Durchschnitt ein bis zwei Hitzetage pro Jahr auftraten, sind es heute häufig deren 20 oder mehr. Auch an den Messstandorten Genève/Cointrin und Zürich/Fluntern ist die Zunahme deutlich sichtbar. Genève/Cointrin verzeichnet heute ähnlich viele Hitzetage pro Jahr wie das Tessin. Am Messstandort Zürich/Fluntern werden heute ungefähr 10 Hitzetage pro Jahr regis-

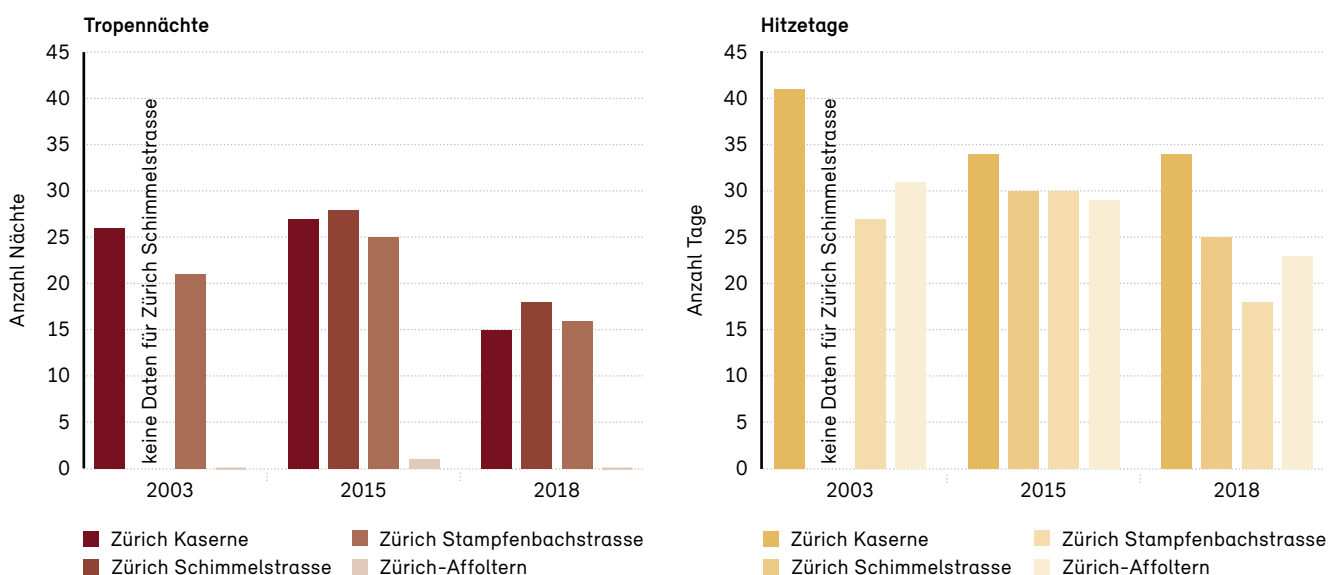
triert. Auffällig sind die starken Schwankungen von Jahr zu Jahr. Die drei Sommer mit den meisten Hitzetagen seit 1961 sind 2003, 2015 und 2018 (MeteoSchweiz 2018; Gehrig et al. 2018).

In Tropennächten sinkt die Temperatur nicht unter 20 °C.²⁷ Hohe Nachttemperaturen sind besonders belastend für die Gesundheit, insbesondere von betagten oder körperlich geschwächten Menschen (vgl. Kap. 6.1.1). Während in den Tieflagen der Südalpen und in den Föhnregionen Tropennächte schon heute jedes Jahr auftreten, sind sie in den ländlichen Gegenden des Schweizer Mittellandes noch ein seltenes Ereignis. Anders in grösseren Städten: Hier sind die sommerlichen Nachttemperaturen im Durchschnitt etwa 2 °C, im Maximum sogar 6 – 7 °C höher als in den umliegenden ländlichen Regionen (Gehrig et al. 2018). Deshalb gibt es dort schon heute regelmässig Tropennächte. Abbildung 26 illustriert, dass im ländlich geprägten Zürich/Affoltern auch in den heute wärmsten Sommern kaum Tropennächte auftreten (keine in den Jahren 2003 und 2018, eine im Jahr 2015), während die innerstädtischen Messstandorte in den Hitzesommern 2003, 2015 und 2018 zwischen 15 und 30 Tropennächte registrierten. Messstandorte, wo heute öfter Tropennächte auftreten, zeigen eine starke Zunahme seit 1961. Auffallend ist die Zunahme seit Beginn der 1980er-Jahre. Im Hitze-

²⁷ Streng genommen dürften für die Analyse von Tropennächten nur die Nachtminima verwendet werden. Der WMO-Indikator «Tropennacht» verwendet jedoch vereinfachend die Minimumtemperatur des gesamten Tages (Tagesminimumtemperatur).

Abb. 26: Tropennächte und Hitzetage in den Jahren 2003, 2015 und 2018

Vergleich für verschiedene Stationen der Stadt Zürich: Kaserne, Schimmelstrasse und Stampfenbachstrasse (alle innerstädtisch) sowie Affoltern (ländlich geprägt).



sommer 2003 wurden an der Station Locarno/Monti 42 Tropennächte gezählt.

3.2.2 Kälte

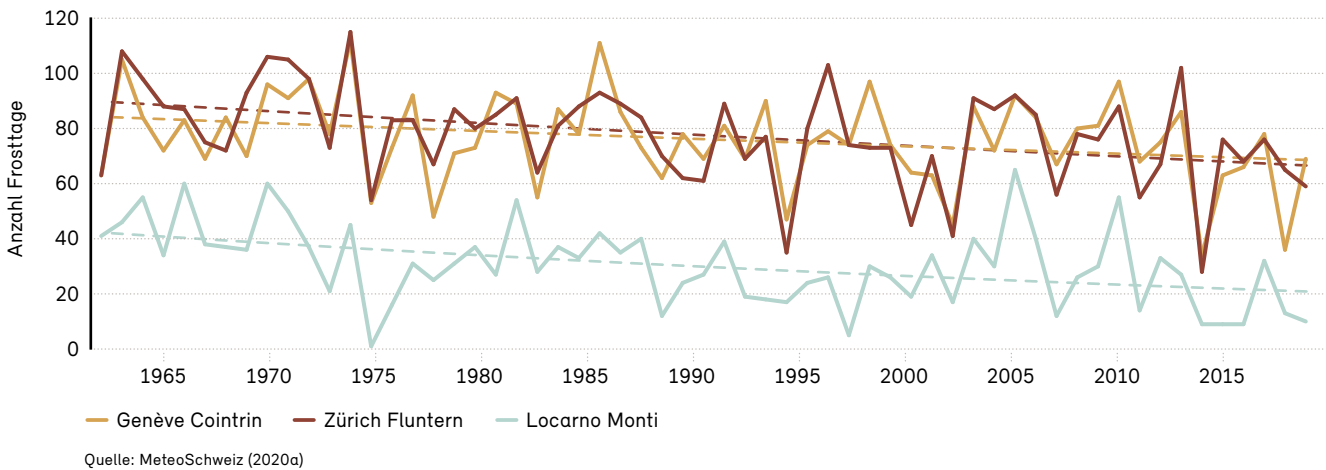
Die Klimaerwärmung manifestiert sich auch bei den tiefen Temperaturen. So haben kalte Tage, Kälteperioden und kalte Jahre in den vergangenen Jahrzehnten abgenommen und die Nullgradgrenze ist angestiegen (vgl. Kap. 3.4). Die ausbleibende Kälte bewirkt den Rückgang des Permafrosts (vgl. Kap. 5.2.2), was im hochalpinen Raum örtlich zu vermehrten Steinschlag- und Felssturzrisiken führt, und der Wintertourismus leidet unter häufigerem Schneemangel (vgl. Kap. 8.7).

An Frosttagen sinkt die Minimumtemperatur unter 0 °C. Die Anzahl Frosttage hat seit den 1960er-Jahren stark abgenommen (Abbildung 27). In Zürich/Fluntern und Genève/Cointrin ging die Anzahl Frosttage um 3 bis 4 Tage pro Jahrzehnt auf etwa 70 Frosttage zurück. In Locarno/Monti hat sich die jährlich zu erwartende Zahl der Frosttage gegenüber den 1960er-Jahren um etwa die Hälfte reduziert.

An Tautagen sinkt das Thermometer nicht unter 0 °C. In Permafrostgebieten können Tautage zur Destabilisierung des Untergrunds führen und so – je nach den lokalklimatischen, topografischen und geologischen Gegebenheiten – das Steinschlag- und Felssturzrisiko erhöhen. Abbildung 28 zeigt, dass für die drei hochalpinen Messstandorte Säntis, Piz Corvatsch und Jungfrauoch die Tautage stark zugenommen haben. Auf dem Säntis ist die Anzahl Tautage von rund 100 in den 1960er-Jahren auf heute über 130 angestiegen, im Rekordjahr 2018 wurden gar 163 Tautage registriert. Auf dem Piz Corvatsch ist die Anzahl Tautage zwischen 1980 und heute von knapp 45 auf rund 65 gestiegen. Selbst auf dem Jungfrauoch treten Tautage immer häufiger auf. Sie haben sich von unter 15 in den 1960er-Jahren auf heute fast 30 verdoppelt.

Abb. 27: Frosttage

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

**Abb. 28: Tautage**

Anzahl Tage pro Jahr mit einer Tagesminimumtemperatur über 0 °C an den drei Bergstationen Säntis (2502 m ü. M.), Piz Corvatsch (3302 m ü. M.) und Jungfrauoch (3580 m ü. M.).

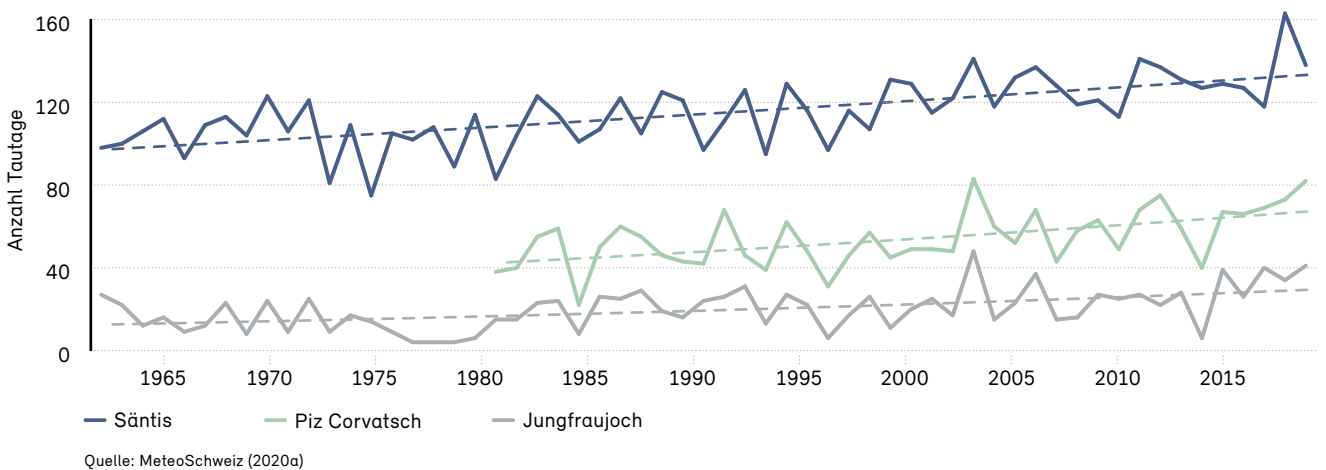
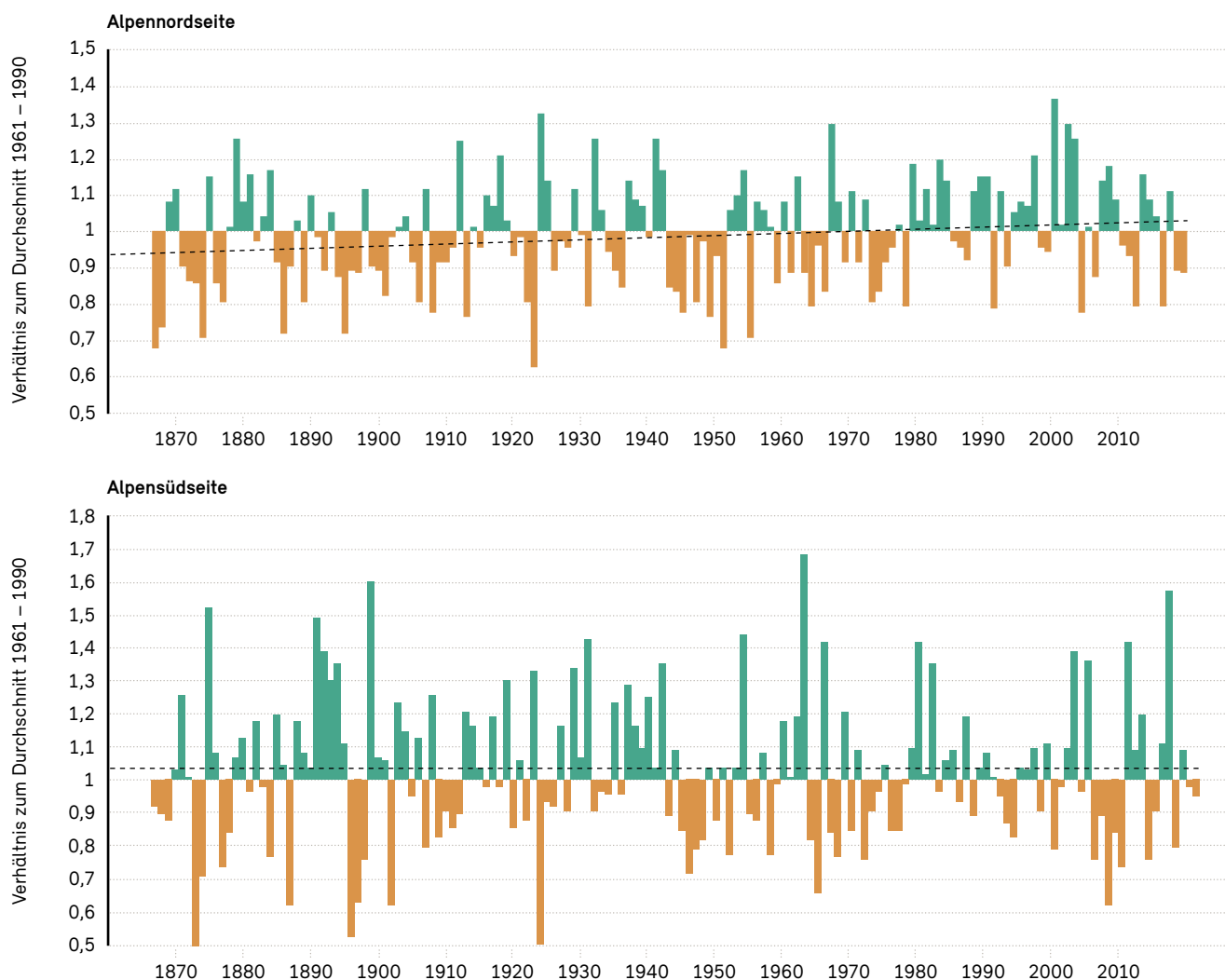


Abb. 29: Jahresniederschläge

Entwicklung des Jahresniederschlags 1864 bis 2019 in den tieferen Lagen der Nordschweiz (<1000 m ü. M., oben) und in der Südschweiz (unten). Der Trend für die tieferen Lagen der Nordschweiz ist signifikant ($p=0.04$). Verhältnis zum Durchschnitt 1961 bis 1990.



Quelle: MeteoSchweiz (2020a)

3.3 Niederschläge und Trockenheit

3.3.1 Mittlerer Niederschlag

Die landesweite Jahresniederschlagssumme zeigt keinen signifikanten langfristigen Trend. Bei der Betrachtung der jahreszeitlichen Niederschläge zeigt jedoch nur der Winter mit etwa +18 % pro 100 Jahren eine statistisch gesicherte Zunahme. In den übrigen Jahreszeiten ist die Veränderung der durchschnittlichen Niederschlagsmenge nicht signifikant. Regional sind Trends feststellbar. So erfuhr der Jahresniederschlag auf der Alpennordseite für den Zeit-

raum 1864–2019 eine signifikante Zunahme von rund 6 % pro 100 Jahre (Abbildung 29, oben). Im zentralen Mittelland entspricht diese Veränderung einer Menge von etwa 100 mm²⁸ oder ungefähr dem Niederschlag eines Sommermonats. In der Südschweiz sind keine signifikanten Veränderungen des mittleren Niederschlags feststellbar. Dies gilt sowohl für die Jahressummen (Abbildung 29) als auch für die saisonalen Summen.

²⁸ Die Masseinheit Millimeter Niederschlag (mm) entspricht einer Menge von einem Liter pro Quadratmeter (l/m²).

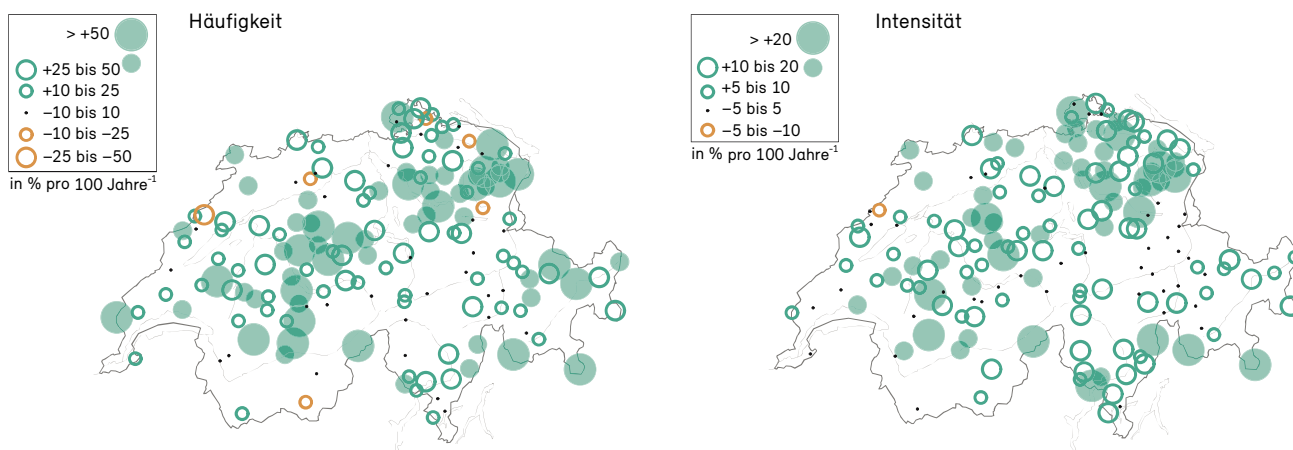
3.3.2 Starkniederschläge

Der Klimawandel beeinflusst auch die Intensität und Häufigkeit von starken Niederschlägen. Unter Starkniederschlägen werden hier einerseits die höchsten Tagesniederschlagssummen pro Jahr als Mass für die Niederschlagsintensität verwendet, und andererseits wird als Mass für die Häufigkeit von Starkniederschlägen die Anzahl Ereignisse pro Jahr betrachtet, die einen Schwellwert der Tagesniederschläge überschreiten (Scherrer et al, 2016). Es geht dabei um Ereignisse, die ein bis drei Mal pro Jahr auftreten, also nicht um sehr seltene Extremniederschläge²⁹. Starkniederschläge haben das Potenzial, Oberflächenabfluss, Überschwemmungen, Murgänge oder Erdrutsche auszulösen und so zu Sachschäden zu führen.

Die Häufigkeit von Starkniederschlägen nahm seit 1901 an den allermeisten Messstationen zu. Im Mittel sind sie heute um 30 % häufiger als zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Abbildung 30, links). Im gleichen Zeitraum nahm die Intensität der grössten Tagesniederschläge im Mittel um 12 % zu (Abbildung 30, rechts). Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für alle vier Jahreszeiten. An den meisten Messstandorten wurden die saisonalen Starkniederschläge häufiger und intensiver (Scherrer et al. 2016).

Abb. 30: Veränderung der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen

Änderung der Häufigkeit (links) und der Intensität (rechts) der Starkniederschläge im Zeitraum von 1901 bis 2015 an Schweizer Niederschlagsstationen (Änderung in Prozent pro 100 Jahre)³⁰. Grün: Zunahme, Orange: Abnahme. Signifikante Veränderungen (gefüllte Kreise) treten an gut 30 % der Messstandorte auf.



Quelle: Scherrer et al. (2016)

²⁹ Informationen zu Wiederkehrperioden von Extremniederschlägen im heutigen Klima sind unter www.climate-extremes.ch verfügbar.

³⁰ Der Berechnung der Häufigkeit liegt das 99. Perzentil der Tagesniederschläge zugrunde, jener der Intensität die jeweils höchste Tages-Niederschlagssumme pro Jahr.

3.3.3 Trockenheit

Für den langjährigen Vergleich der Trockenheit im Sommerhalbjahr wird der SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Vicente-Serrano et al. 2010) verwendet. Der SPEI basiert auf der Wasserbilanz, also der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung.

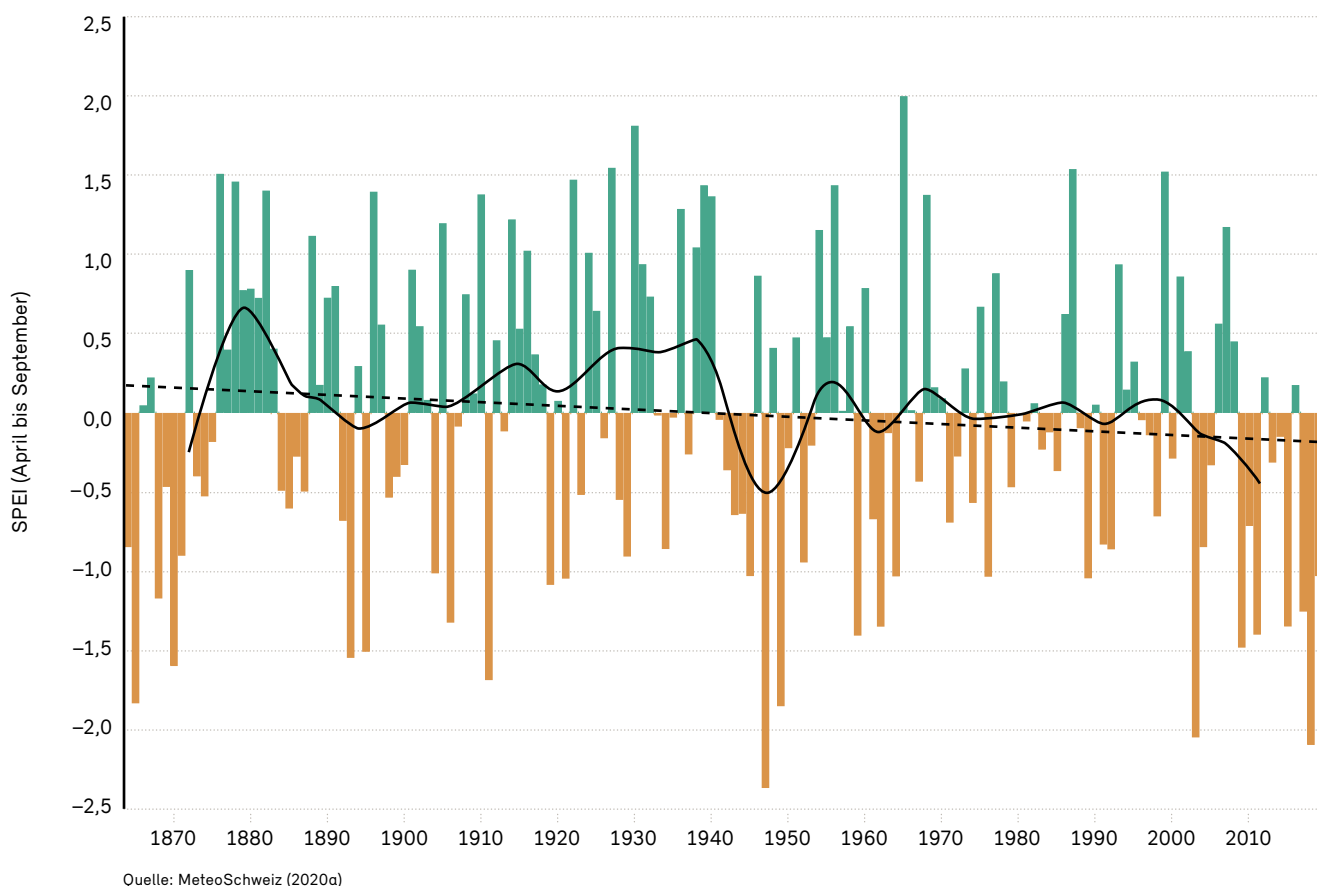
Der SPEI zeigt für das Sommerhalbjahr eine leichte Abnahme für die Periode 1864–2018 (Abbildung 31). Tendenziell scheinen Trockenheitsereignisse etwas häufiger zu werden. Da bei zunehmenden Temperaturen auch

die potenzielle Verdunstung zunimmt, lässt sich diese Tendenz physikalisch gut erklären. Allerdings ist dieser Trend statistisch nicht signifikant.

Auffällig ist die Häufung von trockenen Jahren (negativen SPEI-Werten) in den letzten 10–15 Jahren. Diese Häufung deckt sich mit Satellitenmessungen zur Trockenheit. Das Sommerhalbjahr 2018 war im langjährigen Vergleich ein sehr trockenes Jahr (SPEI kleiner als –2) mit dem zweittiefsten SPEI-Wert seit Messbeginn 1864 (MeteoSchweiz, 2018).

Abb. 31: Verlauf des Trockenheitsmasses SPEI für das Sommerhalbjahr (April bis September)

Mittelwert der Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen, Zürich/Fluntern und Genève/Cointrin. Die Referenzperiode umfasst den Zeitraum seit Messbeginn 1864 bis 2019. Stark negative Werte zeigen seltene oder sehr seltene Trockenheitsereignisse. Ein SPEI von –0,5 bis 0,5 gilt als normal. Die schwarze Kurve stellt das gleitende Mittel und die gestrichelte schwarze Linie den linearen Trend dar.



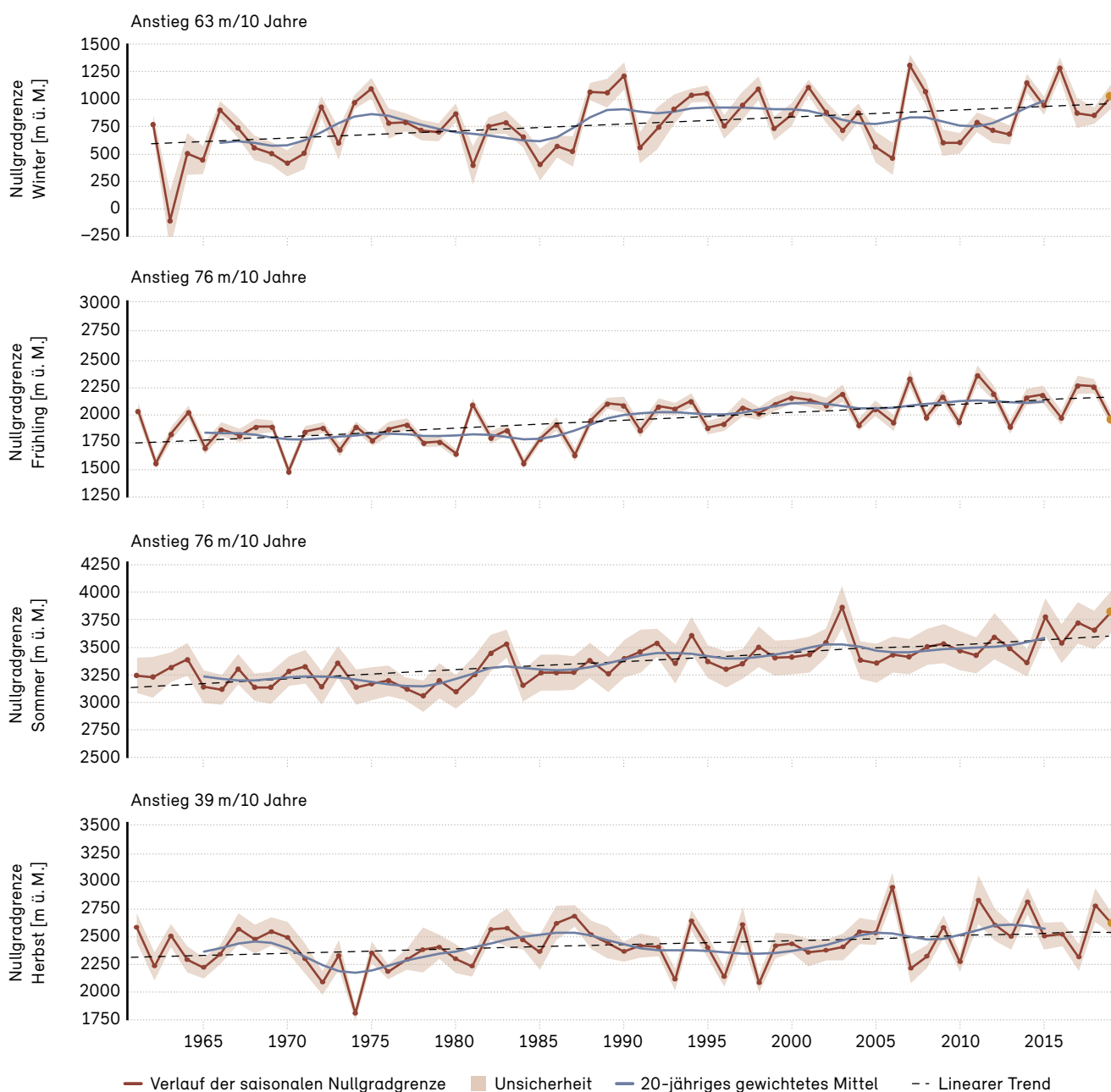
3.4 Nullgradgrenze und Schneedecke

Der Anstieg der Nullgradgrenze ist ein anschauliches Mass für den Klimawandel in der Schweiz. Die Lage der Nullgradgrenze wird mittels Bodenstationen bestimmt

(für Details vgl. MeteoSchweiz 2020b). Die fortschreitende Erwärmung führte seit 1961 in allen Jahreszeiten zu einem signifikanten Anstieg der Nullgradgrenze (Abbildung 32). Sie kletterte im Herbst um rund 220 m, im Winter um knapp 400 m und im Frühling und Sommer gar um rund

Abb. 32: Verlauf der saisonalen Nullgradgrenze

Verlauf der saisonalen Nullgradgrenze (in m ü. M.) von 1961 bis 2019 als Mittelwert für die ganze Schweiz (rote Linie, Jahr 2019: oranger Punkt) mit linearem Trend (schwarz gestrichelt) und 20-jährigem gewichtetem Mittel (blaue Linie). Die rote Schattierung zeigt den Unsicherheitsbereich der Lage der Nullgradgrenze.



430 bzw. 480 m in die Höhe. Aus diesen Werten lässt sich ableiten, dass die Nullgradgrenze pro 1 °C Erwärmung um rund 150 bis 200 m ansteigt (für die zukünftige Entwicklung der Temperaturen vgl. Kap. 4.2).

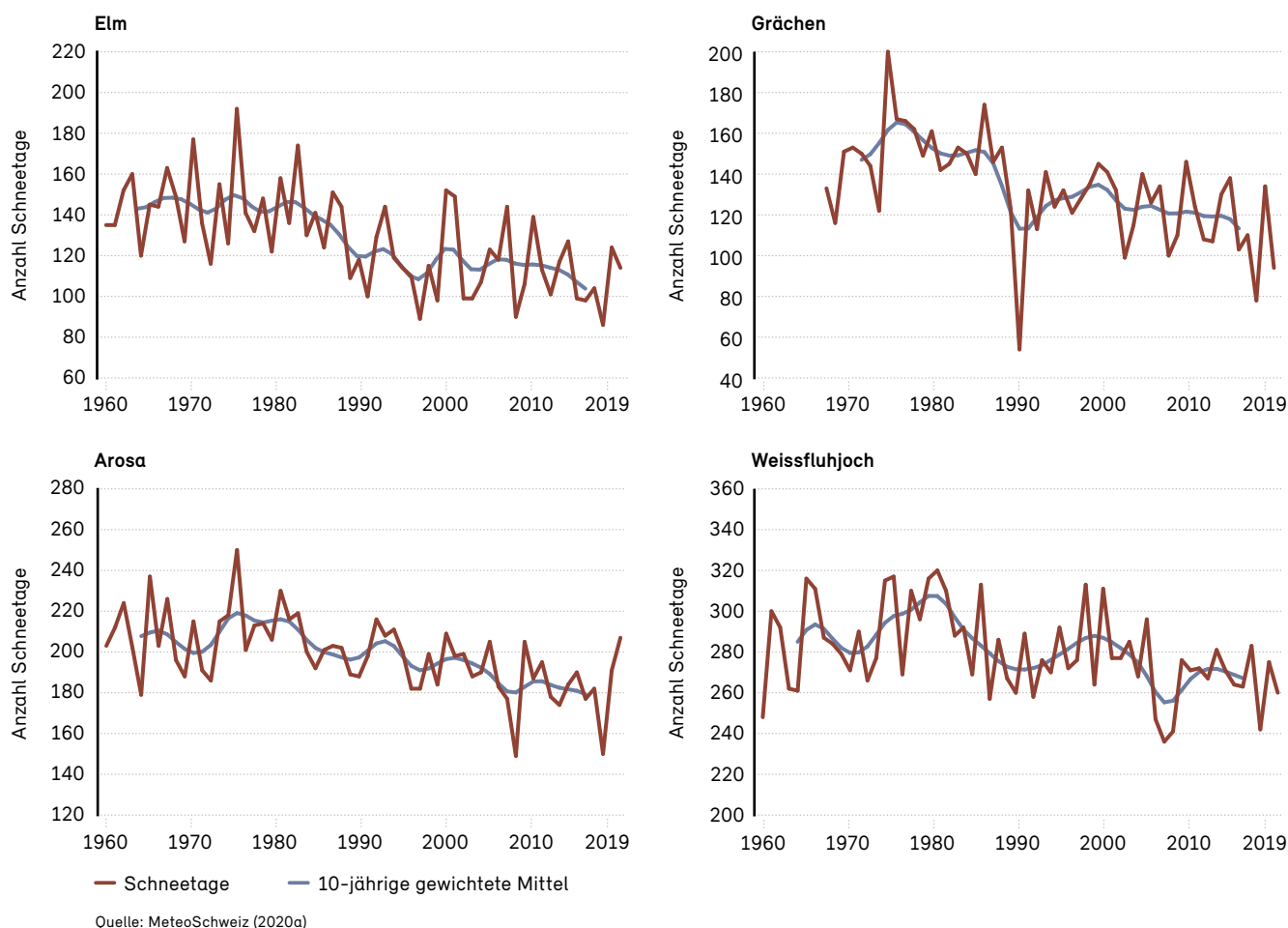
Mit dem Anstieg der winterlichen Nullgradgrenze sind die Neuschneesumme, die Mächtigkeit der Schneedecke und die Schneedeckendauer (zur letzteren siehe Abbildung 33) in den Bergen stark zurückgegangen. Liegt die Nullgradgrenze hoch, dann fallen die Niederschläge zu Beginn und am Ende des Winters sowie in tiefen bis mittleren Lagen

vermehrt als Regen. Zudem beschleunigt eine höher liegende Nullgradgrenze die Schneeschmelze im Frühjahr.

Die winterliche Temperaturerhöhung und die damit verbundene geringere Schneesicherheit sind insbesondere für diejenigen Gebiete in den Voralpen, die stark auf den Wintertourismus ausgerichtet sind, eine grosse Herausforderung. In höheren Lagen sind die Bedingungen für Schneefall im Winter auch bei steigenden Temperaturen meist gegeben, womit die Problematik hier weniger stark ausgeprägt ist (vgl. Kap. 4, Kap. 6.4 und Kap. 8.7).

Abb. 33: Schneetage

Anzahl Schneetage (Schneedecke $\geq 1\text{cm}$) in der Periode August bis Juli für die Jahre 1961 bis 2019 an den Messstationen Elm (958 m ü. M.), Grächen (1605 m ü. M.), Arosa (1878 m ü. M.) und Weissfluhjoch (2690 m ü. M.). Daten nicht homogenisiert. Die blaue Linie zeigt das 10-jährige gewichtete Mittel.



3.5 Sonnenscheindauer und Bewölkung

Die Sonnenscheindauer hat an den meisten Messstandorten von 1950 bis etwa 1980 deutlich abgenommen. Danach folgte im Mittelland und in den Tieflagen der Südalpen eine deutliche Zunahme (Abbildung 34). So hat die Sonnenscheindauer von 1980 bis 2019 in Zürich/Fluntern um gut 400 Stunden bzw. rund 25 % und in Locarno/Monti um rund 225 Stunden bzw. 10 % zugenommen. Im Gegensatz dazu kann bei der Bergstation Säntis weder eine deutliche Abnahme bis 1980 noch eine klare Zunahme bis heute beobachtet werden.

Die beobachteten Trends hängen in erster Linie mit der Variabilität der Wetterlagen zusammen. Perioden mit geringer Sonnenscheindauer bzw. mehr Bewölkung sind stärker tiefdruckbestimmt, während Perioden mit hoher Sonnenscheindauer bzw. geringer Bewölkung stärker hochdruckbestimmt sind. Zudem beeinflussen vor allem in der kalten Jahreshälfte und in tiefen Lagen Perioden mit mehr oder weniger Nebel die Jahressumme der Sonnenscheindauer. Ein zusätzlicher Einfluss der Luftverschmutzung, die um 1980 einen Höhepunkt erreichte, ist nicht auszuschliessen, konnte aber noch nicht quantitativ belegt werden.

3.6 Klimaindikatoren ohne bisher sichtbare Veränderung

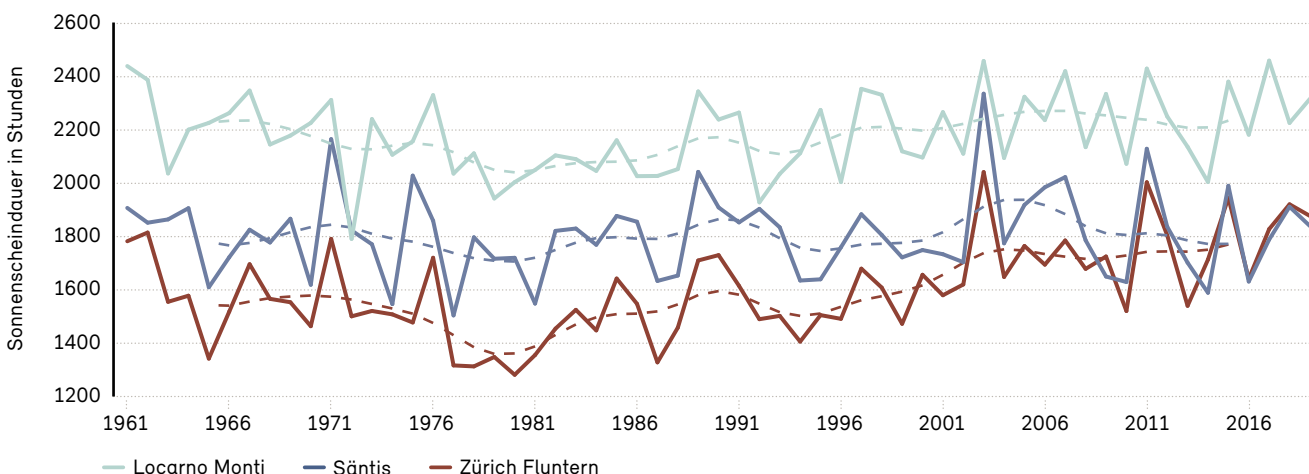
Wie oben gezeigt, wirkt sich der Klimawandel bereits heute auf viele Grössen des Klimasystems aus. Alle beobachteten Veränderungen gehen in die Richtung, die aufgrund der Klimaszenarien für die Zukunft erwartet wird (vgl. Kap. 4).

Für ein paar wenige Parameter wie Sommerniederschlag oder Sommertrockenheit entsprechen die Beobachtungen noch nicht dem, was für die Zukunft erwartet wird. Das liegt daran, dass die durch den Klimawandel verursachte Veränderung noch sehr klein ist und die grosse natürliche Variabilität den beobachteten Verlauf noch dominiert.

Auch gibt es Grenzen in der Identifikation und Interpretation gradueller Veränderungen. Dies gilt insbesondere für kleinräumige oder selten auftretende Phänomene, die weder in den Beobachtungen, noch in den heutigen Klimamodellen genügend gut erfasst werden. Beispiele dafür sind Hochnebel, Wind und Sturm, Gewitter oder Hagel. Für diese Phänomene ist es zielführend, die bisher beobachtete Variabilität als Referenz für Präventions- oder Anpassungsmassnahmen zu verwenden. Verbesserungen bei der Klimabeobachtung sowie feinmaschigere und leistungsfähigere Klimamodelle dürften dazu beitragen, dass Veränderungen im Klimasystem in Zukunft noch detaillierter erfasst werden können.

Abb. 34: Sonnenscheindauer

Sonnenscheindauer in Stunden für die Jahre 1961 bis 2019 an den Stationen Zürich/Fluntern (rot), Säntis (blau) und Locarno/Monti (türkis). Die geglätteten Linien zeigen ein 11-jähriges gleitendes Mittel.



4 Das zukünftige Klima in der Schweiz

Die Schweiz ist als Alpenland dem Klimawandel und den damit verbundenen Risiken besonders ausgesetzt. Das Ausmass der Veränderung hängt massgeblich davon ab, wie sich die Treibhausgasemissionen weltweit entwickeln. Aber selbst wenn die Erwärmung global auf +2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden kann, muss sich die Schweiz an den Klimawandel und dessen Folgen anpassen. Es ist deshalb wichtig zu wissen, wo und wie sich der Klimawandel in Zukunft auswirken wird.

Die Klimaszenarien CH2018 (NCCS 2018) beschreiben, wie sich das Klima der Schweiz bis Mitte dieses Jahrhunderts und darüber hinaus verändern könnte. Sie wurden unter Federführung des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz und der ETH Zürich zwischen 2015 und 2018 erstellt und bilden einen Themenschwerpunkt des NCCS³¹, welches Klimadienstleistungen bündelt, Bedürfnisse identifiziert und Akteure vernetzt.

Im Rahmen der Arbeiten des Weltklimarats IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) festgelegte Emissionsszenarien sind der Ausgangspunkt für die Klimaszenarien CH2018 (Kap. 4.1). Der globale Emissionspfad, der in Zukunft beschränkt wird, bestimmt massgeblich, wie stark sich die Temperaturen in der Schweiz verändern werden (Kap. 4.2). Die wichtigsten projizierten Veränderungen werden in Kap. 4.3 vorgestellt. Die Ergebnisse der Klimaszenarien dienen als Grundlage für weitergehende Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels sowie zur Planung von Anpassungsmassnahmen (vgl. Kap. 8).

4.1 Emissionsszenarien und Klimamodelle als Grundlage

Eine zentrale Grösse für die Abschätzung des Verlaufs des zukünftigen Klimas ist der globale Ausstoss von Treibhausgasen. Dieser ist von der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung abhängig. Da eine genaue Prognose dieser Entwicklung nicht möglich ist, werden verschiedene Szenarien, die zu unterschiedlichen

CO₂-Emissionen führen, verwendet (sog. Emissionsszenarien).

Mithilfe von Klimamodellen und basierend auf den verschiedenen Emissionsszenarien können mögliche Klimaszenarien gerechnet werden. Diese erlauben Aussagen dazu, wie sich die klimatische Zukunft unter bestimmten Annahmen entwickeln könnte. Die neuen Klimaszenarien CH2018 berücksichtigen, in Anlehnung an die Arbeiten des Weltklimarats IPCC, drei mögliche Entwicklungen der zukünftigen Treibhausgasemissionen, wovon zwei im vorliegenden Bericht vorgestellt werden:

a) Konsequenter Klimaschutz (RCP2.6): Mit rasch eingeleiteter Reduktion der globalen Emissionen auf praktisch Null wird der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre bis in etwa 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Übereinkommens von Paris wahrscheinlich erreichen und die globale Erwärmung kann auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Zustand begrenzt werden.

b) Kein Klimaschutz (RCP8.5): Es werden keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen. Trotz des technischen Fortschritts nehmen die klimawirksamen Emissionen stetig zu – und mit ihnen die Erwärmung.

Für die betrachteten Emissionsszenarien liegen Ergebnisse aus Simulationen mit 21 verschiedenen Klimamodellen vor. Daraus ergeben sich Bandbreiten für die Abschätzung der Auswirkungen auf das zukünftige Klima. Wie sich diese Veränderungen auf die Schweiz auswirken, wird in den nachfolgenden zwei Unterkapiteln zusammengefasst.

4.2 Entwicklung der Temperatur mit und ohne Klimaschutz

Der globale Klimawandel sorgt dafür, dass es auch in der Schweiz wärmer wird. Bei ungebremst steigenden Treibhausgasemissionen (RCP8.5) zeigen die neuen Klimaszenarien CH2018 eine Zunahme der Schweizer Jahresmitteltemperatur um weitere rund 2–3 °C bis Mitte des Jahrhunderts. Mit einer raschen und umfassenden Reduktion des weltweiten Ausstosses von Treibhausga-

31 www.nccs.ch

sen (RCP2.6) könnte die zusätzliche Erwärmung in der Schweiz auf weniger als 2 °C gegenüber heute begrenzt werden (Abbildung 35).

Die bis 2060 erwartete Erwärmung betrifft alle Regionen der Schweiz und ist im Sommer etwas stärker ausgeprägt als im Winter (Abbildung 36). Während im Winter keine regionalen Unterschiede festzustellen sind, zeigt sich im Sommer ein überdurchschnittlicher Temperaturanstieg in den alpinen Regionen.

4.3 Hauptresultate der CH2018-Szenarien im Überblick

Der Klimawandel in der Schweiz zeigt sich nicht nur anhand der Entwicklung der durchschnittlichen Temperaturen. Mittels verschiedener Klimaindikatoren lassen sich die erwarteten Auswirkungen veranschaulichen. Mit spürbaren Veränderungen ist auch beim Niederschlag zu rechnen. Zwar gibt es in Bezug auf das Jahresmittel kaum Anzeichen für eine Zu- oder Abnahme, aufgeschlüsselt nach den Jahreszeiten sind jedoch klare Tendenzen erkennbar. Ebenso sind Veränderungen in den Temperatur- und Niederschlagsextremen zu erwarten.

Abb. 35: Gemessener und projizierter Verlauf der Jahresmitteltemperatur von 1864 bis 2100 über der Schweiz als Abweichung gegenüber der Referenzperiode 1981 bis 2010

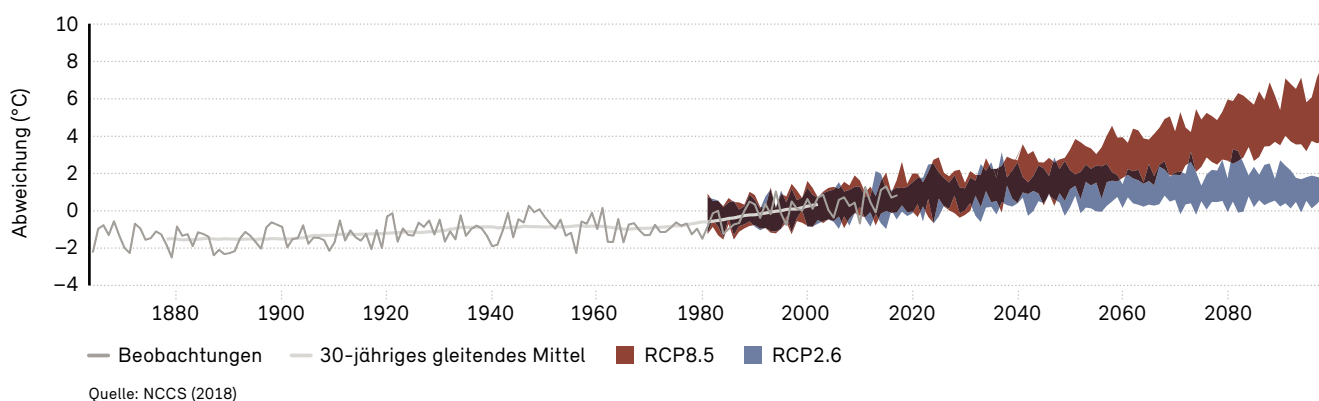
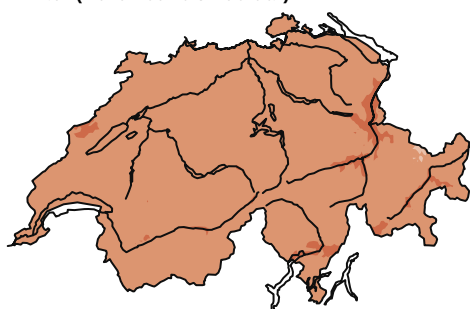


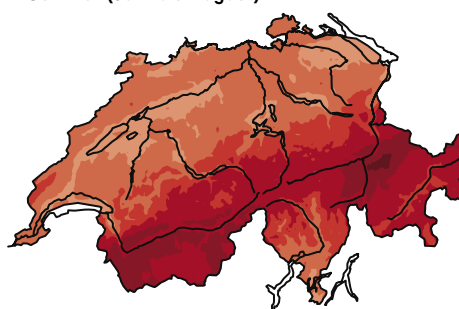
Abb. 36: Absolute Veränderung der Temperatur im Winter und Sommer für den Zeitraum um 2060 gegenüber der Referenzperiode 1981 bis 2010
Winter (links): Monate Dezember bis Februar, Sommer (rechts): Monate Juni bis August. Gezeigt sind die Veränderungen für ein Emissions-szenario ohne globale Klimaschutzmassnahmen (RCP8.5-Szenario).

Winter (Dezember bis Februar)

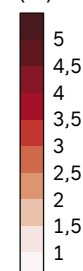


Quelle: NCCS (2018)

Sommer (Juni bis August)



Abweichung (°C)



Nachfolgend werden zum Szenario eines ungebremsen Klimawandels (RCP8.5) die vier Hauptergebnisse für die Schweiz zum Zeitpunkt Mitte des 21. Jahrhunderts vorgestellt:

4.3.1 Trockene Sommer

Die mittlere Niederschlagsmenge in den Sommermonaten wird abnehmen. Mitte des Jahrhunderts sind bis zu 25 % weniger Niederschlag möglich. Es gibt weniger Regentage, und die längste niederschlagsfreie Periode dauert länger. Gleichzeitig nimmt die Verdunstung zu. Dementsprechend werden die Böden trockener. Mit fortschreitendem Klimawandel nimmt die Tendenz zur Trockenheit weiter zu.

4.3.2 Mehr Hitzetage

Noch erheblich stärker als die Durchschnittstemperaturen steigen die Höchsttemperaturen im Sommer. Die Jahreshöchsttemperaturen könnten Mitte Jahrhundert um 2 °C bis 5,5 °C höher liegen als heute. Hitzewellen werden häufiger und extremer. Am grössten ist die Hitzebelastung in den bevölkerungsreichen städtischen Gebieten in tiefen Lagen. Im Mittelland und in den Alpentälern steigt das Thermometer vermehrt über die 30-Grad-Marke, die einen «Hitzetag» kennzeichnet. Auch nachts wird die Erwärmung zukünftig stärker spürbar sein. Vermehrte Tropennächte in tiefen Lagen sind eine Folge dieser Entwicklung.

4.3.3 Heftige Niederschläge

Einzelne Starkniederschläge dürften in Zukunft merklich häufiger und intensiver auftreten als heute üblich. Dies betrifft alle Jahreszeiten. Im Sommer werden Einzelereignisse trotz abnehmender Niederschlagssummen stärker. Auch sehr seltene Niederschlagsereignisse, wie sie etwa einmal in 100 Jahren eintreten, verstärken sich. Mitte Jahrhundert ist mit 10 bis 20 % heftigeren Niederschlägen zu rechnen.

4.3.4 Schneearme Winter

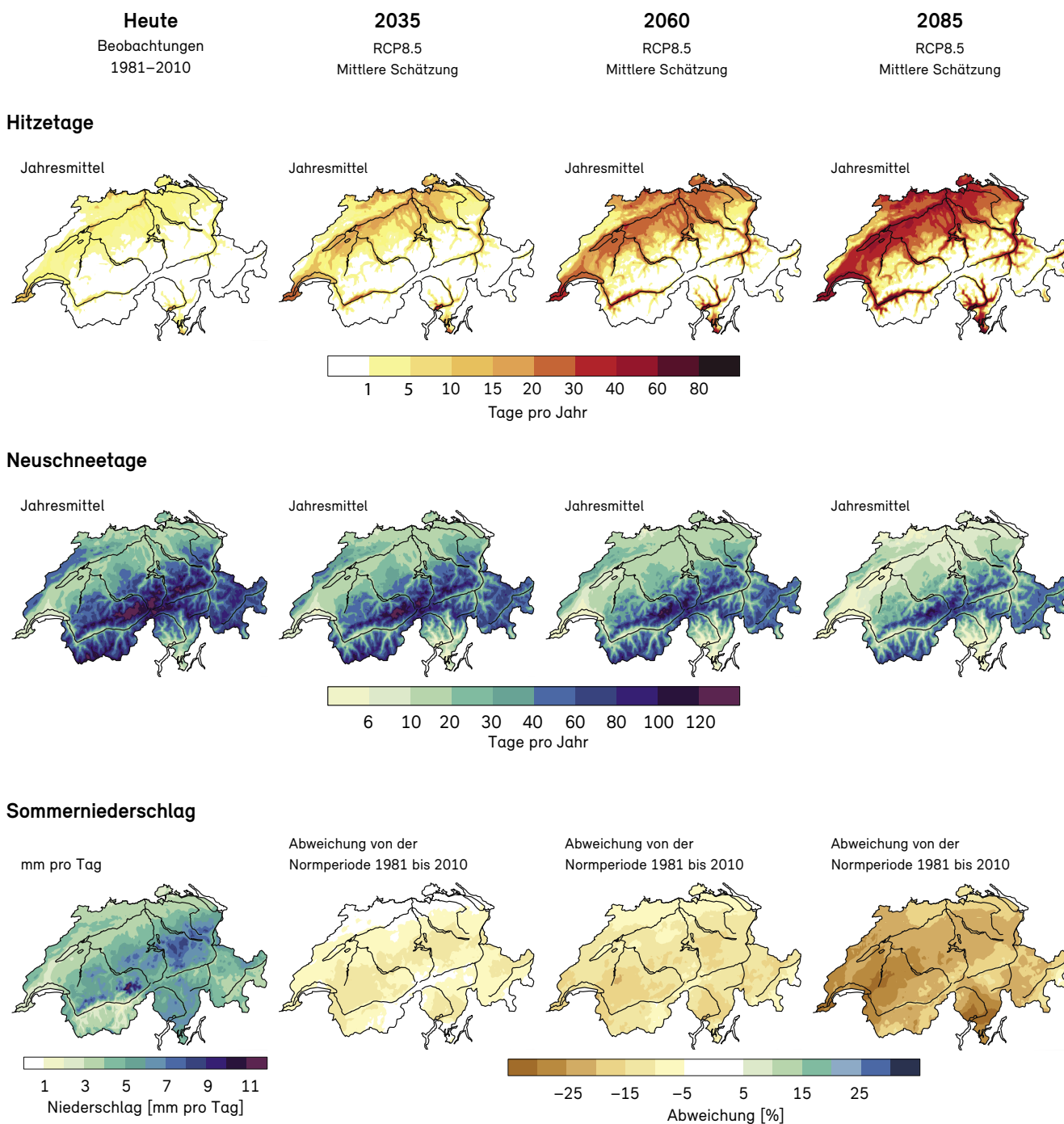
Auch die Winter sind Mitte des Jahrhunderts deutlich wärmer als heute, im Durchschnitt etwa 2 bis 3,5 °C. Zwar fällt mehr Niederschlag – aber eher als Regen, weil die Nullgradgrenze von heute 850 m ü. M. auf 1250 – 1500 m ü. M. klettert. In tieferen Lagen schneit es darum seltener und weniger. Entsprechend stark werden die schneereichen

Gebiete der Schweiz schrumpfen. Über das ganze Jahr betrachtet gibt es landesweit weniger Tage mit Neuschnee. Im Mittelland wird unterhalb von 400 m über Meer ein Rückgang von heute durchschnittlich 13 auf 8 Neuschneetage erwartet.

Eine umfassende Reduktion des weltweiten Treibhausgasausstosses würde den Klimawandel auch in der Schweiz wirksam eindämmen. So liessen sich bis Mitte des 21. Jahrhunderts die Hälfte, bis Ende Jahrhundert zwei Drittel der erwarteten Veränderungen vermeiden. Dies betrifft nicht nur die Temperatur, sondern auch andere Klimaindikatoren sowie Veränderungen im Niederschlag. Zwar würde sich der Klimawandel fortsetzen, dies aber in bedeutend geringerem Umfang gegenüber einer Welt, in der die Emissionen unvermindert ansteigen.

Abb. 37: Entwicklung von Hitzetagen, Neuschneetagen und Niederschlagsmengen im Sommer

Entwicklung für ein Emissionsszenario ohne globale Klimaschutzmassnahmen (RCP8.5). Dargestellte Zeiträume: Heute = 1981 bis 2010, 2035 = 2020 bis 2049, 2060 = 2045 bis 2074, 2085 = 2070 bis 2099.



Quelle: CH2018-Webatlas (2018) und www.klimaszenarien.ch

4.4 Weiterführende Studien und Aktivitäten

Die neuen Klimaszenarien CH2018 erlauben den bisher genauesten Blick in die Klimazukunft der Schweiz. Sie bestätigen und erweitern das in den vorausgegangenen Untersuchungen aus den Jahren 2007 und 2011 gezeichnete Bild. Neu sind für verschiedene, bislang nur qualitativ bekannte Trends auch quantitative Angaben verfügbar, so etwa für Niederschlagsextreme. Zudem repräsentieren die neuen Klimaszenarien den aktuellsten Stand der Wissenschaft, sie berücksichtigen die Erkenntnisse aus dem fünften Sachstandbericht des Weltklimarats IPCC und stützen sich auf die aktuellsten Klimasimulationen mit vierfach höherer räumlicher Auflösung gegenüber der früheren Klimaszenario-Generation.

Weil die neuen Klimaszenarien CH2018 in enger Zusammenarbeit mit Nutzern entwickelt wurden, finden sie leichter Eingang in weitergehende Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels sowie zu Anpassungsmöglichkeiten. Das NCCS nimmt dabei eine wichtige, koordinierende Rolle ein. Damit ist einerseits sichergestellt, dass sich die Folgearbeiten auf eine einheitliche Datengrundlage stützen, andererseits erleichtert dies Rückschlüsse auf Nutzerbedürfnisse im Hinblick auf die Verbesserung von Klimadienstleistungen.

Ein Anwendungsbeispiel der neuen Schweizer Klimaszenarien CH2018 ist der NCCS Themenschwerpunkt Hydro-CH2018, der sich den Wasserressourcen und deren zukünftiger Entwicklung widmet. Ziel ist es, verbesserte hydrologische Grundlagen zur Anpassung zur Verfügung zu stellen.

Auch für die zweite Phase des BAFU Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» (vgl. Kap. 8.2) bilden die neuen Klimaszenarien eine wichtige Informations- und Datengrundlage. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Unterstützung der Kantone, Regionen und Gemeinden beim Umgang mit den Herausforderungen des Klimawandels geleistet.

5 Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen Systeme

Langjährige Messungen dokumentieren den Rückgang der Alpengletscher als Folge des sich erwärmenden Klimas (Kap. 5.2.1). Daneben geben eine ganze Reihe anderer Indikatoren Aufschluss über die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturraum der Schweiz. So verändern sich das Abflussregime und die Temperatur der Gewässer (Kap. 5.1), der Permafrost taut auf (Kap. 5.2.2), die Hangstabilität nimmt ab und Erosionsprozesse werden begünstigt (Kap. 5.3). Auch in der belebten Umwelt sind Veränderungen erkennbar (Kap. 5.4).

5.1 Hydrosphäre

Der Klimawandel führt zu Veränderungen in der Art, Menge und zeitlichen Verteilung von Niederschlägen sowie zum Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen. Abflussmengen in Flüssen (Kap. 5.1.1) und die Temperaturen in stehenden und fliessenden Gewässern sowie im Grundwasser sind eng an Veränderungen der klimatischen Bedingungen gekoppelt (Kap. 5.1.2).

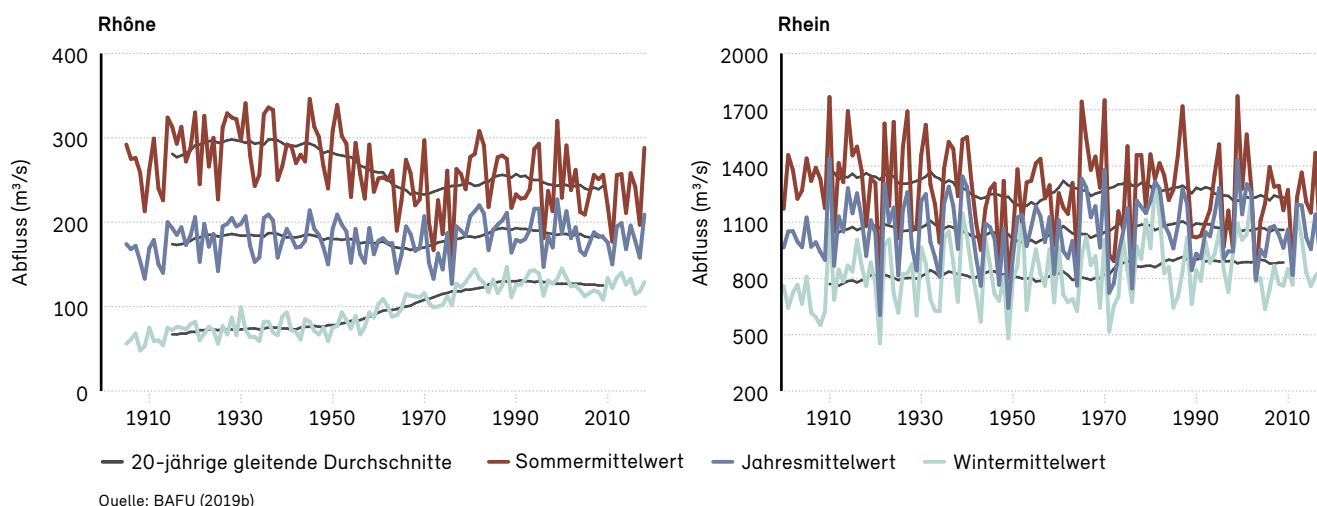
5.1.1 Abfluss

Das Abflussregime, das heisst der mittlere jahreszeitliche Verlauf des Abflusses eines Gewässers, wird durch das Verhältnis von Niederschlag zu Verdunstung bestimmt, sowie dem Zeitpunkt und dem Ausmass der Schnee- bzw. der Gletscherschmelze.

Die Jahresmittelwerte der Abflüsse in grossen Einzugsgebieten wie Rhone und Rhein wurden durch die Klimaänderung bisher kaum beeinflusst. Die saisonalen Abflüsse hingegen haben sich verändert. Abbildung 38 zeigt eine Zunahme der Winterabflüsse in beiden Gebieten. Dies hängt einerseits mit den leicht erhöhten Winterniederschlägen, andererseits mit dem Einfluss der Temperatur auf die Schneefallgrenze zusammen. Ein zunehmender Teil der Niederschläge fällt auch im Winter als Regen und fliesst direkt ab. Der Betrieb von Staubecken im Gebirge, wo im Sommer erhebliche Wassermengen für die Energieerzeugung im Winter zwischengespeichert werden, ist ebenfalls ein wichtiger Faktor für diese Veränderung im Abflussregime. Am Rhein nehmen die Sommerabflüsse

Abb. 38: Abflussmenge in der Rhone und im Rhein

Jahresmittelwerte und saisonale Mittelwerte (Sommer/Winter) zwischen 1900 und 2017 in der Rhone (Porte du Scex) (links) und im Rhein (Basel) (rechts).



wegen der höheren Verdunstung infolge steigender Temperaturen und die abnehmende Schmelzwassermenge aus Schnee leicht ab. Im Einzugsgebiet der Rhone wird dies vorerst noch mit den zunehmenden Abflüssen aus der Gletscherschmelze kompensiert.

Je nach der Fläche und Höhe des Einzugsgebiets, seiner geographischen Lage und dem Grad der Vergletscherung wirken sich höhere Temperaturen unterschiedlich auf das Abflussregime aus (BAFU 2012b).

5.1.2 Temperaturen von Fliessgewässern, Seen und Grundwasser

Seit Beginn der Messungen in den 1960er-Jahren nehmen die Temperaturen in den grösseren Fliessgewässern der Schweiz zu (Abbildung 39). Tendenziell ist diese Entwicklung bei den Flüssen im Mittelland ausgeprägter als bei den Alpenflüssen. Für den beobachteten Anstieg ist einerseits der Klimawandel verantwortlich, andererseits tragen Faktoren wie das Einleiten von erwärmtem Wasser aus Industrie und thermischen Kraftwerken dazu bei. Im Alpenraum werden die jahreszeitlichen Temperaturverläufe durch den saisonal erhöhten Anteil von Schmelzwasser beeinflusst.

Das Temperaturmessnetz des Bundes erlaubt es, einen gesamtschweizerischen Überblick für die grossen Fliessgewässer zu erstellen und die klimatischen Einflüsse zu

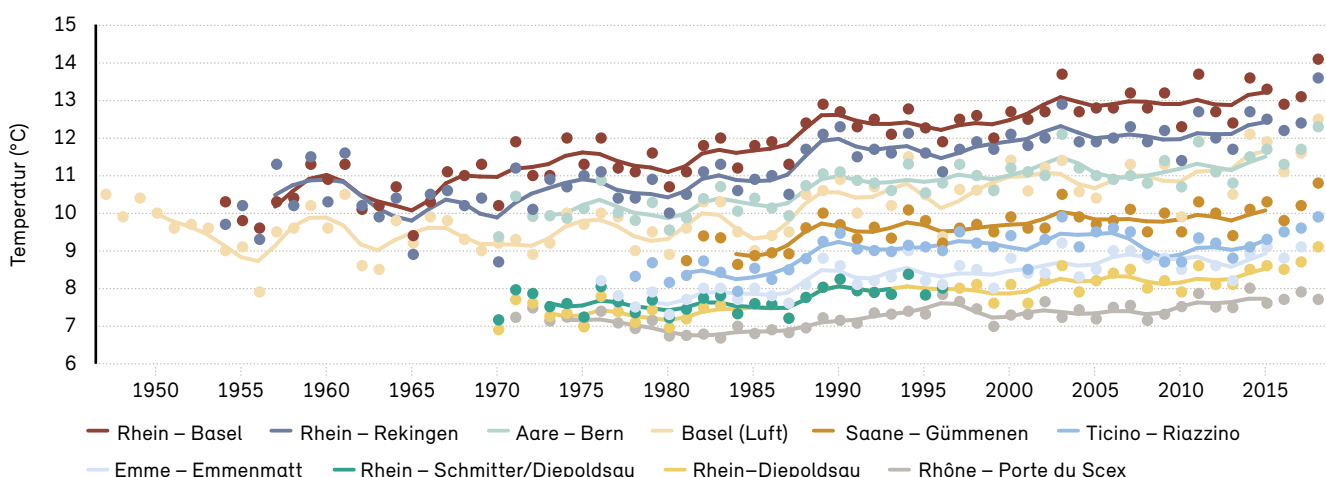
beobachten. Um die Aussagekraft der Auswertungen für kleinere und mittlere Fliessgewässer zu verbessern, wird das Messnetz ergänzt (Herold et al. 2018).

Unter bisherigen klimatischen Bedingungen weisen stehende Gewässer in der Schweiz aufgrund der Wärmeeinstrahlung eine charakteristische Temperaturschichtung auf. Bei genügend tiefen Wintertemperaturen und in Abhängigkeit von der Wassertiefe kommt es ein- oder zweimal jährlich zu einer teilweisen oder vollständigen Durchmischung der verschiedenen Schichten. Die Erhöhung der Seetemperaturen infolge des Klimawandels kann diesen Durchmischungsprozess verändern oder behindern. Dieser ist jedoch wichtig für die Funktionsweise von Seen als komplexe Ökosysteme.

Die ungünstigen Auswirkungen des Klimawandels auf die See-Ökosysteme machen sich in der Schweiz immer stärker bemerkbar. Beim Zürichsee wurde seit 1980 eine Erwärmung der Jahresdurchschnittstemperatur in 5 m Tiefe von 0,4 °C pro Jahrzehnt gemessen (Abbildung 40). Auch beim Genfersee wird ein Anstieg der Temperatur beobachtet (Abbildung 41). Damit verbunden sind eine verminderte Durchmischung und zunehmender Sauerstoffmangel im Tiefenwasser. Auch Veränderungen in der Algenzusammensetzung sind dokumentiert (Schmid et al. 2019).

Abb. 39: Temperaturentwicklung von neun Fliessgewässern

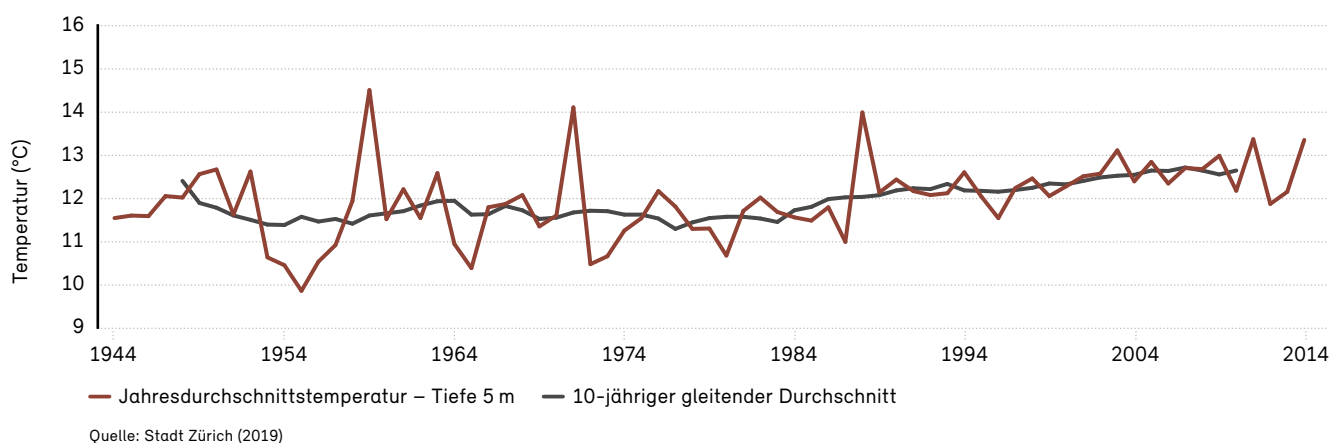
Jahresmittelwerte der Wassertemperatur (Punkte) an neun Messstellen des BAFU zwischen 1954 und 2018. Die gleitenden Jahresmittel (Linien) sind über sieben Jahre berechnet. Zu Vergleichszwecken wird die Lufttemperatur in Basel (MeteoSchweiz) angegeben.



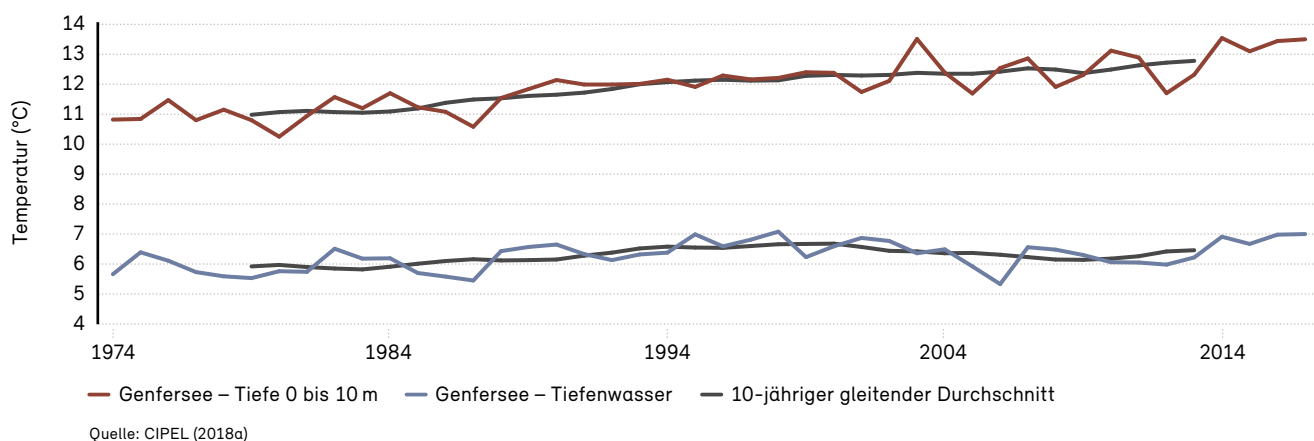
Quelle: BAFU und MeteoSchweiz (2019)

Abb. 40: Temperaturentwicklung des Zürichsees

Entwicklung der Wassertemperaturen (Jahresdurchschnitte) im Zürichsee in einer Tiefe von 5 Metern und an der Probenahmestelle Thalwil zwischen 1944 und 2014.

**Abb. 41: Temperaturentwicklung des Genfersees**

Entwicklung der Wassertemperaturen (Jahresdurchschnitte) im Genfersee in Tiefen von 0 bis 10 Metern und in Tiefenwasser, an der Probenahmestelle GE3 zwischen 1974 und 2017.



Der Anstieg der Durchschnittstemperaturen hat auch zur Folge, dass die Seen des Schweizer Mittellandes seit 40 Jahren weniger häufig zufrieren. Seit 20 Jahren werden solche Ereignisse deutlich seltener. Allerdings sind, selbst über einen kurzen Zeitraum betrachtet, bedeutende Schwankungen feststellbar. Während im Jahr 2007 kein einziger See zufror, führte die ausserordentliche Kälte- welle im Februar 2012 dazu, dass sich auf der gesamten oder zumindest auf einem Teil der Oberfläche dieser Seen eine dicke Eisschicht bildete.

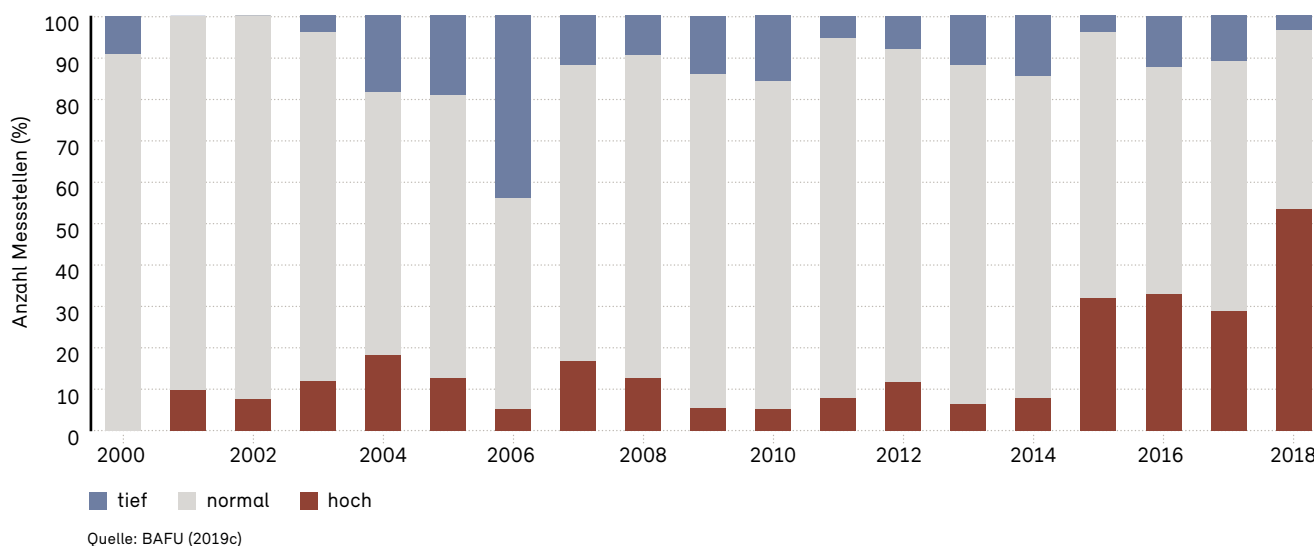
Bei sehr tiefen Seen (z.B. Brienersee, Walensee), die weniger oft zufrieren, zeigt sich der Rückgang der Eisbe-

deckung besonders deutlich. Bei flachen Seen hingegen (z. B. Greifensee, Pfäffikersee, Ägerisee) kommt es in den meisten Wintern nach wie vor zur Bildung einer geschlossenen Eisdecke. Die Dauer der Eisbedeckung hat sich jedoch seit der Mitte des 19. Jahrhunderts stark verkürzt.

Die Grundwassertemperatur wirkt sich massgeblich auf den chemischen und biologischen Zustand des Grundwassers aus. Die Beobachtung der Grundwassertemperatur erlaubt es, einen Zusammenhang zwischen der Temperaturentwicklung und den direkten (Siedlungsflächen, Tiefbauten, Geothermienutzung etc.) bzw. den indirekten anthropogenen Einflüssen (Anstieg der Lufttemperatur) aufzuzeigen.

Abb. 42: Entwicklung der Grundwassertemperatur

Mittelwert pro Messstelle und Jahr in Relation zum langjährigen Mittelwert (2000 bis 2018). Grundwassertemperatur normal: Aktueller Messwert liegt im Bereich mit 80 % der Werte zwischen 2000 und 2018, Hoch: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % höchsten Werte zwischen 2000 und 2018, Tief: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % tiefsten Werte zwischen 2000 und 2018.



An ca. 45 % der 48 durch die Nationale Grundwasserbeobachtung (NAQUA) betriebenen Messstellen blieb die Grundwassertemperatur im Zeitraum 2000 bis 2016 weitgehend unverändert. An weiteren 45 % der Messstellen stieg sie um mehr als 0,2 °C pro 10 Jahre an. Bei den restlichen 10 % der Messstellen sank sie um mehr als 0,2 °C pro 10 Jahre (BAFU 2019a). Ein Mehrjahresvergleich verdeutlicht die Auswirkungen der hohen Lufttemperaturen im Jahr 2018 auf das Grundwasser (Abbildung 42).

5.2 Kryosphäre

Die Kryosphäre umfasst alle Gebiete, in denen Wasser in gefrorenem Zustand vorliegt. In der Schweiz sind dies insbesondere gletscherbedeckte Flächen, Gebiete, wo der Untergrund über viele Jahre ganzjährig gefroren ist (Permafrost) sowie die saisonale Schneedecke. Mit dem Klimawandel nehmen Gletscherflächen ab und der Permafrost erwärmt sich und taut auf. Der Gletscherschwund wird unter anderem durch die Messung der Massenbilanz und der Längenänderung dokumentiert (Kap. 5.2.1). Der Zustand des Permafrosts wird anhand der Temperatur in Bohrlöchern, Änderungen in Eisgehalt und Kriechgeschwindigkeiten von Blockgletschern beobach-

tet (Kap. 5.2.2). Auf die Veränderungen der natürlichen Schneedecke wird in den Kapiteln 3.4 und 4.3 eingegangen.

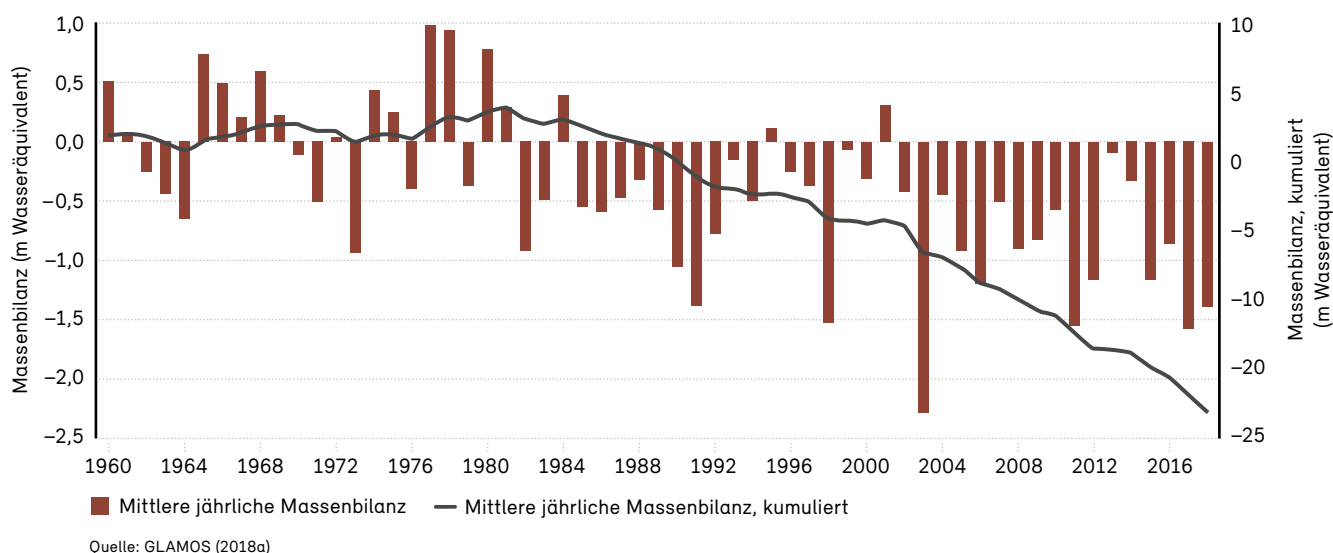
5.2.1 Gletschermassenbilanz und Gletscherlängenänderung

Schwankungen in den Klimabedingungen können anhand der Volumen- bzw. der Massenänderung eines Gletschers aufgezeigt werden. Die gemittelte Massenbilanz für fünf Schweizer Gletscher mit sehr langen Messreihen zeigt, dass zwischen etwa 1960 und 1985 einzelne Jahre mit einer Zunahme des Gletschervolumens durch Jahre mit Verlusten weitgehend ausgeglichen wurden. Während der letzten 30 Jahren ist hingegen ein kontinuierlicher und immer schnellerer Massenverlust erkennbar (Abbildung 43).

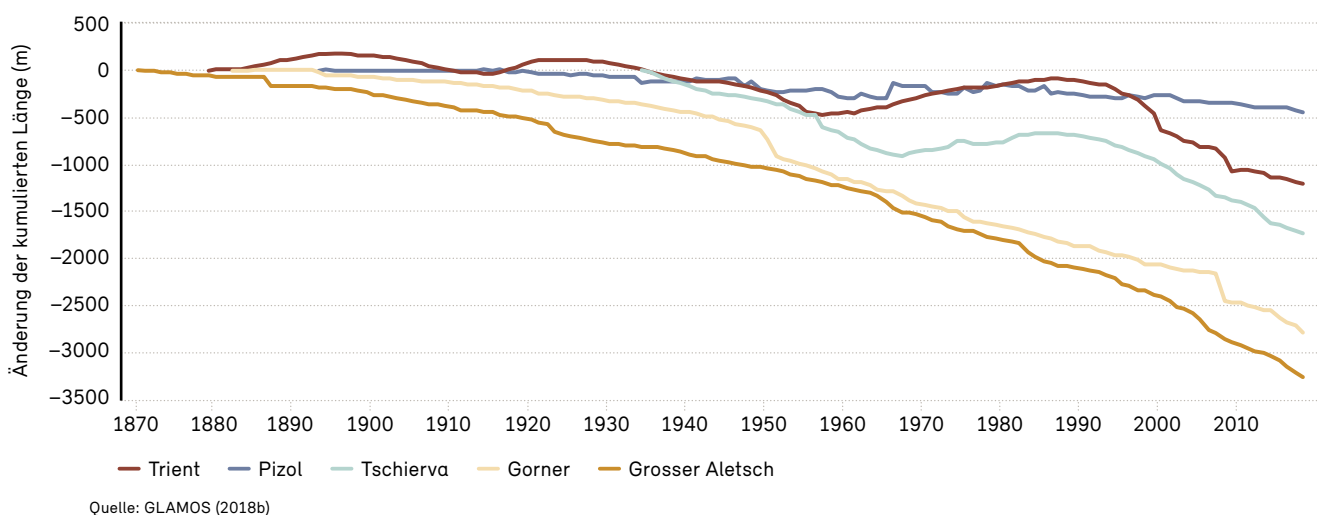
Der mittlere Dickenverlust der Gletscher lag seit dem Jahr 2000 bei rund einem Meter pro Jahr. In Extremjahren wie 2003, 2015, 2017 oder 2018 betrug er gegen zwei Meter, bei einzelnen Gletschern sogar noch mehr. Das 2018 in der Schweiz verbliebene Eisvolumen wird auf 50 bis 55 km³ geschätzt (Farinotti et al. 2019). Seit 2008 verloren die Schweizer Gletscher jedes Jahr etwa 2 % ihres Volumens.

Abb. 43: Mittlere Massenbilanz von fünf Alpengletschern

Jährliche, durchschnittliche und kumulative Massenbilanz von fünf Schweizer Gletschern: Allalin (VS), Clariden (GL), Giétro (VS), Gries (VS), Silvretta (GR), 1960 bis 2018.

**Abb. 44: Kumulative Längenänderung von fünf Schweizer Gletschern**

Kumulative, jährliche Längenänderung der Gletscher Pizol (1892 bis 2018: -421 m), Trient (1878 bis 2018: -1152 m), Tschierva (1933 bis 2018: -1666 m), Gorner (1881 bis 2018: -2739 m) und Aletsch (1869 bis 2018: -3261 m).



Die Längenänderung eines Gletschers (Vorstoss oder Rückzug der Gletscherzunge) ist von der Gletschergrösse abhängig (Abbildung 44): Kleine Gletscher (z. B. Pizol³²) reagieren rasch auf die Witterungsverhältnisse in einem einzelnen Jahr, während die Zungen grösserer Gebirgsgletscher (z. B. Trient, Tschierva) träger (inner-

halb mehrerer Jahre bis Jahrzehnte) auf Veränderungen der Umgebungstemperatur reagieren. Bei grossen Talgletschern haben selbst Phasen mit ausgeglichener Massenbilanz wie in den 1960er- und 1970er-Jahren keinen Einfluss auf den langjährigen Trend der Längenänderung. So weist der Grosse Aletschgletscher seit 1879 einen kontinuierlichen Rückgang der Zunge um gesamthaft über 3 km auf.

³² 2019 wurde beschlossen, die Vermessung des Pizolgletschers wegen der zu klein gewordenen Oberfläche einzustellen.

Der beobachtete Gletscherschwund in den Schweizer Alpen kann primär auf die ansteigenden Sommertemperaturen zurückgeführt werden (Zemp et al. 2015). Die Winter-Schneemenge und die Sonneneinstrahlung sind von zweitrangiger Bedeutung (Huss et al. 2009). In den kommenden Jahren werden sich die Gletscher unabhängig von der Temperaturentwicklung weiter deutlich zurückbilden: Ihre Ausdehnung ist für das derzeitige Klima zu gross. Bis 2100 ist davon auszugehen, dass – je nach Verlauf der Konzentration der CO₂-Emissionen in der Atmosphäre – zwischen 63 % und 94 % des Eisvolumens in den Alpen verschwinden (Zekollari et al. 2019). Die Gletscher werden damit ihre Rolle als Wasserspeicher, aber auch ihre ausgleichende Wirkung auf den Abfluss von Fließgewässern weitgehend verlieren. Gleichzeitig wird sich ihre Bedeutung für die Produktion von Wasserkraft sowie für den Tourismus ändern.

5.2.2 Veränderungen im Permafrost

Permafrost gibt es in der Schweiz oberhalb von ca. 2300 m ü. M.. Er bedeckt rund 5 % der Landesfläche und ist vor allem in Schutthalden, Blockgletscher und Felswänden zu finden. Seit dem Jahr 2000 werden die Veränderungen des Gebirgspermafrosts an etwa 30 Standorten durch das Schweizer Permafrostmessnetz PERMOS dokumentiert. Die Permafrostverbreitung und -veränderung im Hochgebirge ist räumlich sehr variabel und wird beeinflusst von der Topografie, der Bodenbeschaffenheit und der Schneebedeckung. So isoliert z. B. eine dicke Schneedecke den Untergrund gegenüber den Witterungsbedingungen und hat je nach Zeitpunkt einen kühlenden oder wärmenden Einfluss: Ein spätes Einschneien im Frühwinter wirkt kühlend, ein frühes Ausapern wärmend.

Die Auftauschicht³³ über dem Permafrost beträgt in den Alpen typischerweise wenige Meter und die jährlichen Änderungen sind durch die Bodeneigenschaften und die Witterungsverhältnisse bestimmt. An fast allen PERMOS-Standorten hat die Mächtigkeit der Auftauschicht in den letzten Jahren zugenommen. Im Jahr 2018 wurden in den 15- bis 30-jährigen Messreihen viele Höchstwerte registriert (Abbildung 45).

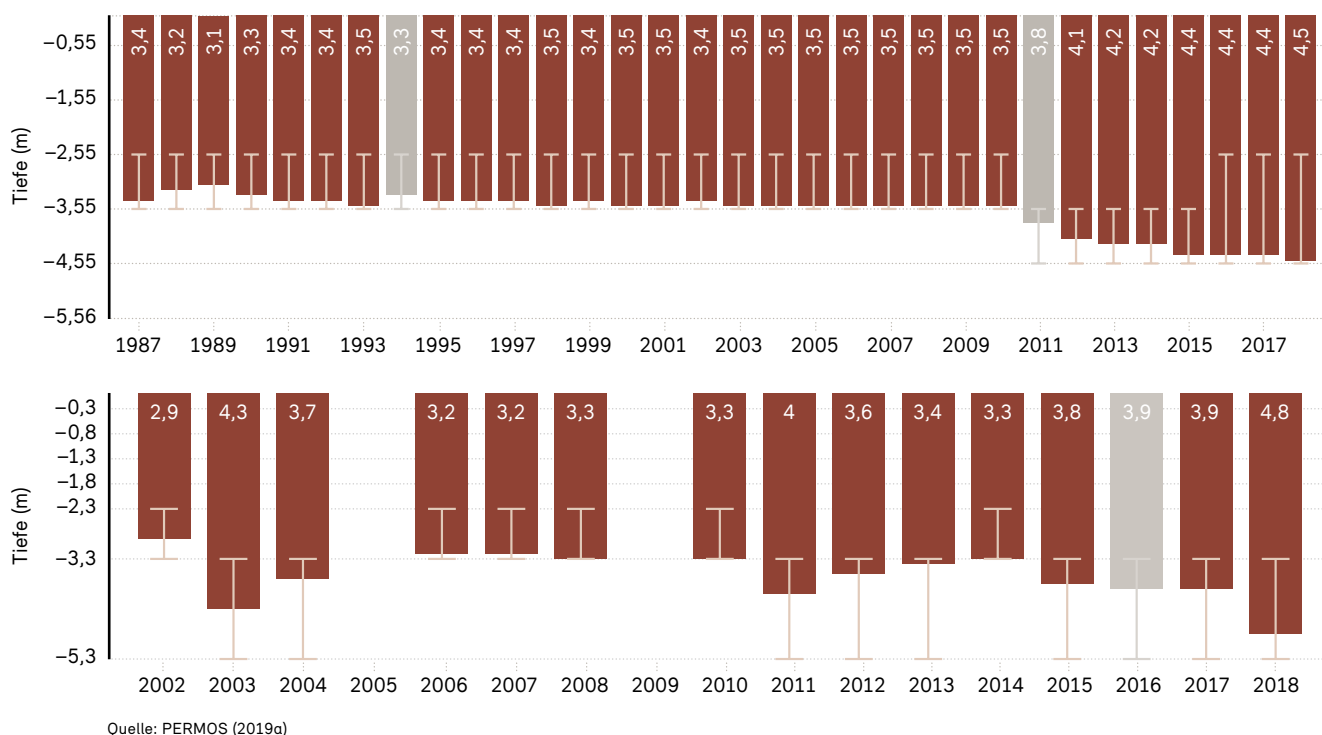
Unter der Auftauschicht liegen die Permafrosttemperaturen in den Alpen im Jahresmittel mehrheitlich bei –3 bis 0 °C. In den höchsten schattigen Gebirgsflanken über 4000 m ü. M. können sie aber unter –10 °C liegen. Temperaturänderungen an der Oberfläche zeigen sich in 10 m Tiefe mit einer Verzögerung von rund einem halben Jahr (Abbildung 46). Messungen in dieser Tiefe eignen sich gut, um mittelfristige Trends festzustellen. In Messungen in 20 m Tiefe sind Jahresschwankungen nicht mehr erkennbar und langfristige Trends werden sichtbar.

In der Schweiz wurden insbesondere in den letzten 10 Jahren steigende Permafrosttemperaturen gemessen. Die Temperaturzunahme ist unterschiedlich hoch, im Blockgletscher Corvatsch-Murtèl beträgt sie ein halbes Grad Celsius in etwa 20 m Tiefe, an Standorten mit Temperaturen nahe bei 0 °C ist sie aufgrund der latenten Wärme, die für Phasenwechsel gebraucht wird sehr klein. Die Änderungen im Eisgehalt können aber mittels geophysikalischen Methoden erfasst werden und an vielen Bohrlochstandorten wurde eine deutliche Abnahme gemessen. Die Kriechgeschwindigkeiten von Blockgletschern (Moränenmaterial und Schutt, die durch Eis zusammengehalten werden) zeigen ein gemeinsames Muster mit den Permafrosttemperaturen und eine kontinuierliche Zunahme zwischen 2007 und 2015 (Delaloye et al. 2010).

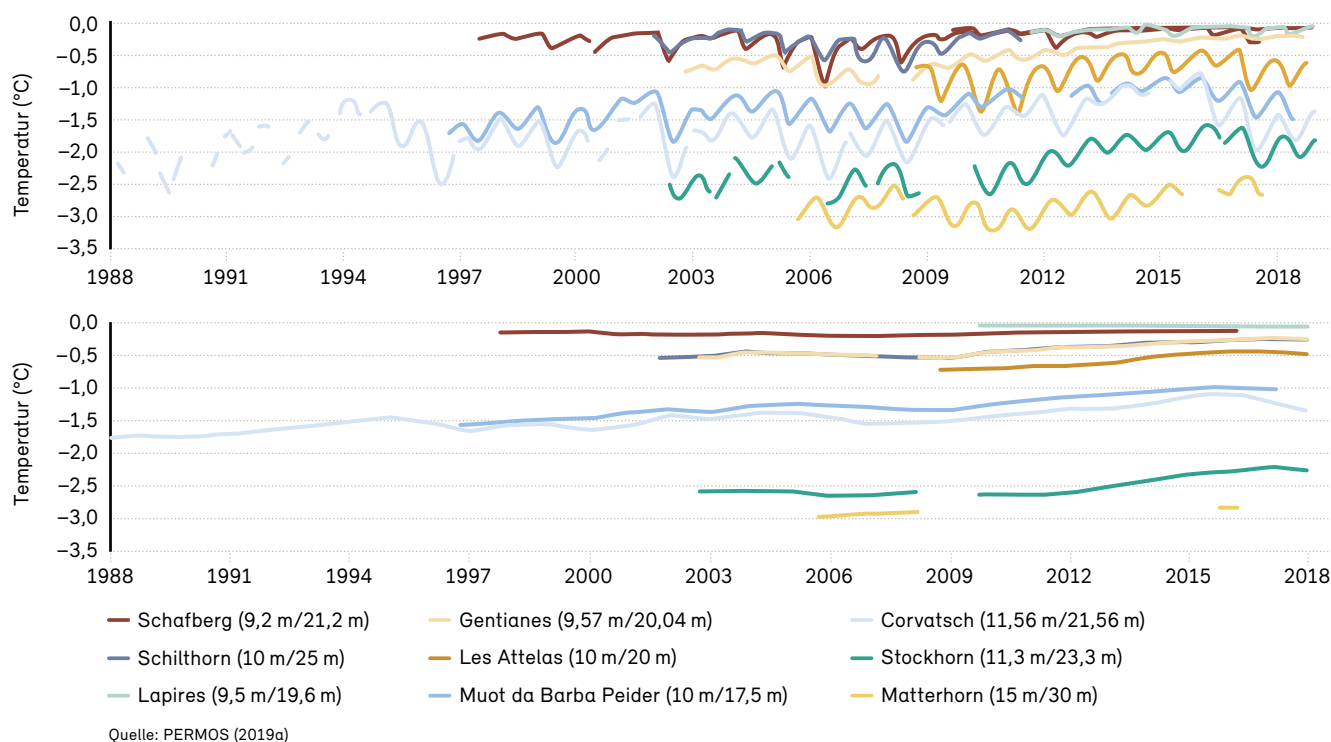
³³ Die Auftauschicht ist diejenige Schicht über dem dauerhaft gefrorenen Boden, die im Winter gefroren ist, während des Sommers aber auftaut.

Abb. 45: Mächtigkeit der Auftauschicht für zwei Bohrlöcher des Schweizer Permafrostmessnetzes

Corvatsch (oben) und Stockhorn (unten). Die Unsicherheitsbalken zeigen die Tiefe der Thermistoren, die zur Interpolation der Auftauschicht verwendet wurden. Graue Balken zeigen Jahre mit unsicherer Datenqualität.

**Abb. 46: Bohrlochtemperaturen gemessen im Permafrost**

Bohrlochtemperaturen gemessen im Permafrost in den Schweizer Alpen in ca. 10 m (oben) und 20 m (unten) Tiefe.



5.3 Pedosphäre

Die wichtigste Auswirkung des Klimawandels auf den Boden ist eine Zunahme der Erosion aufgrund häufigerer und intensiverer Niederschläge. Zwei Mechanismen sind verantwortlich dafür, dass Niederschlagswasser nicht mehr in den Boden versickern kann und oberflächlich abfließt: Dies kann passieren, wenn 1) die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität des Bodens übersteigt (Starkregenereignisse mit hoher Intensität, ausgetrockneter bzw. verkrusteter Boden, Infiltrationsüberschuss) oder wenn 2) der Boden mit Wasser gesättigt ist (Dauerregen mit grosser Niederschlagsmenge, Sättigungsüberschuss). Je nach Gefälle und Beschaffenheit der Oberfläche fließt das Wasser dann als Oberflächenabfluss ab und kann Bodenerosion verursachen.

Eine Zunahme von Starkregen wird vor allem im Sommerhalbjahr erwartet. Damit sind besonders im Frühjahr gesäte oder gepflanzte Kulturen wie Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln und Gemüse betroffen. Mit mehr Dauerregen und grossen Niederschlagsmengen muss überwiegend im Herbst und Winter gerechnet werden. Betroffen sind somit im Herbst gesäte Kulturen wie Wintergetreide, Zwischenkulturen sowie Brachflächen. Da gemäss Klimaszenarien die Herbst- und Winterniederschläge generell etwas zunehmen werden und aufgrund des Temperaturanstiegs mehr Regen und weniger Schnee fallen wird, steigt auch die Erosionswirkung der Niederschläge im Winter. Das Erosionsrisiko steigt somit primär im Winterhalbjahr bei den oben erwähnten Kulturen.

Oberflächenabfluss und Erosion können für den Boden selbst negative Auswirkungen haben (On-Site-Schäden), es können aber auch benachbarte Flächen und Ökosysteme betroffen sein (Off-Site-Schäden). Erosion führt zu irreversiblen Bodenverlusten und beeinträchtigt die Bodenfruchtbarkeit und die Bodenfunktionen. Off-Site-Schäden als Folge von Erosion und Oberflächenabfluss sind ein Problem für Gebäude und Infrastruktureinrichtungen sowie für Gewässer, indem letztere mit Sediment sowie Nähr- und Schadstoffen belastet werden (Bernet et al. 2018, Prasuhn et al. 2018).

Verschiedene Modellberechnungen für unterschiedliche Klimaszenarien zeigen, dass mit einer Zunahme der

Bodenerosion in der Schweiz zu rechnen ist, wenn keine entsprechenden Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft entwickelt werden (Klein et al. 2013). Quantitative Indikatoren zum Erfassen der Bodenerosion in Zusammenhang mit dem Klimawandel liegen dagegen nicht vor.

5.4 Biosphäre

Die Biosphäre umfasst den gesamten von Lebewesen besiedelten Raum der Erde. In der Schweiz können die Gewässerökosysteme der Seen, Flüsse und Bäche von den terrestrischen Ökosystemen der Wälder, des Offenlands und der Siedlungen unterschieden werden. Nur die äussere Atmosphäre, extrem lebensfeindliche Bereiche im ewigen Eis sowie im Untergrund und vom Menschen geschaffene, abgeschlossene Räume sind unbelebt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biosphäre können festgestellt werden anhand von veränderten jahreszeitlichen Entwicklungen (Phänologie der Pflanzen, Klarwasserphase von Seen; Kap. 5.4.1/5.4.2), Verschiebungen im Lebensraum von Organismen (Arealverschiebung von Pflanzen; Kap. 5.4.3), Anpassungsprozesse innerhalb von Ökosystemen (Wald; Kap. 5.4.4) oder Veränderungen von Populationen (Fische, Brutvögel; Kap. 5.4.5/5.4.6).

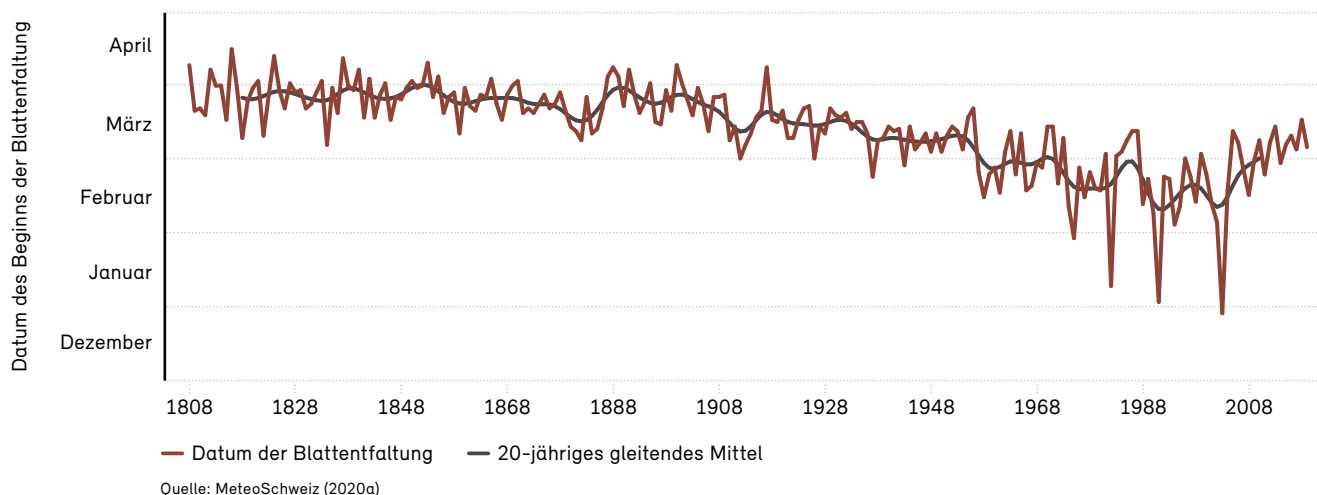
5.4.1 Phänologie der Pflanzen

Die jahreszeitliche Entwicklung von Pflanzen ist sehr stark vom Temperaturverlauf abhängig, so dass klimatische Veränderungen die Wachstumsphasen zahlreicher Pflanzenarten beeinflussen. Phänologische Daten, z. B. das Datum der Blüte oder der Blattentfaltung, sind deshalb 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 47) und den Beginn der Blütezeit eines Kirschbaums bei Liesetal (Abbildung 48).

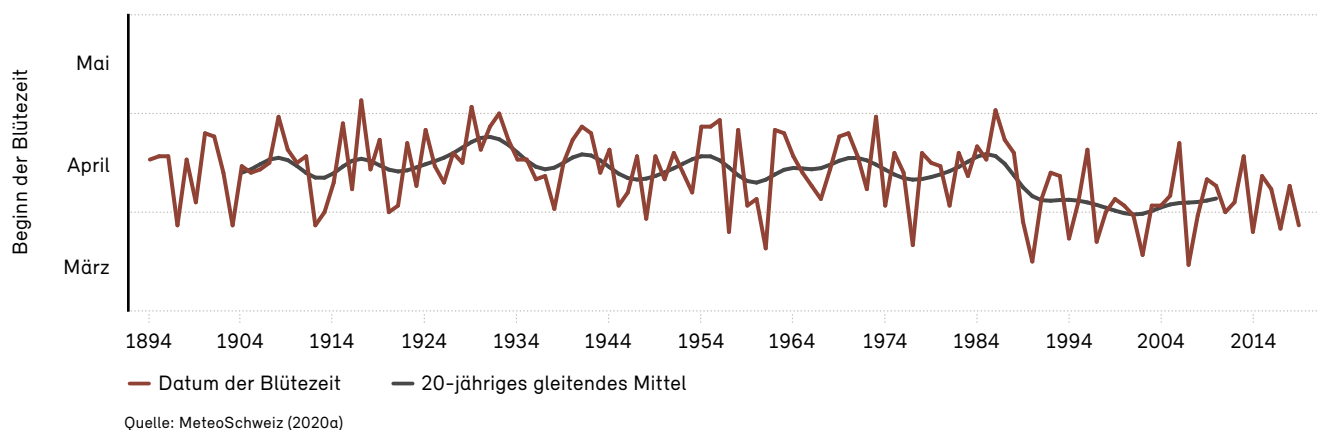
Die Blattentfaltung der Rosskastanie verfrühte sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts. Als spätestes Datum wurde der 23. April 1816 registriert, als frühestes der 29. Dezember 2002. Das frühere Auftreten der Blattentfaltung der Rosskastanie in Genf wurde neben dem allgemeinen Temperaturanstieg auch durch die fortschreitende Urbanisierung und damit durch das lokal wärmere Stadtkli-

Abb. 47: Beginn der Blattempfaltung der Rosskastanie in Genf

Eintrittstermin der Blattempfaltung während der Periode 1808 bis 2019. Die graue Linie entspricht dem 20-jährigen gleitenden Mittel.

**Abb. 48: Beginn der Blütezeit des Kirschbaums bei Liestal**

Eintrittstermin der Blüte des Kirschbaums bei Liestal (BL), 1894 bis 2019. Die graue Linie entspricht dem 20-jährigen gleitenden Mittel.



ma beeinflusst. Vor einigen Jahren hat sich der Trend zur Verfrühung umgekehrt. Die Gründe dafür sind noch nicht bekannt. Der offizielle Baum für die Messreihe starb im Sommer 2015 ab. Seither werden die Beobachtungen an einem neuen Baum gemacht.

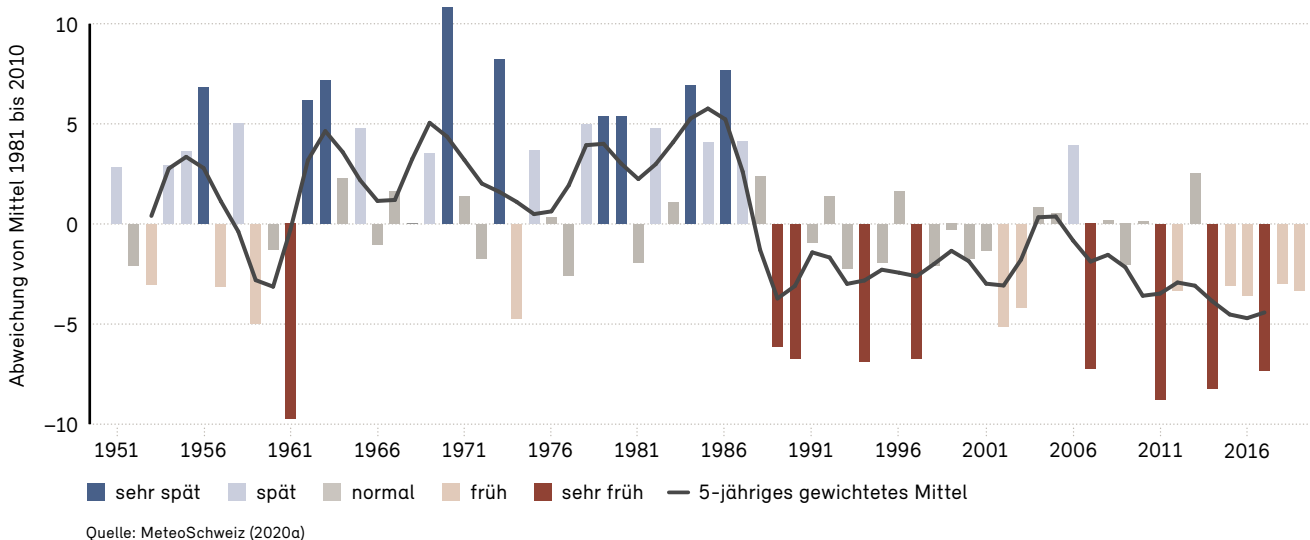
Die Datenreihe zur Blüte des Kirschbaums zeigt eine deutliche Vorverschiebung seit dem Ende der 1980er-Jahre. Die Blütezeit des Kirschbaums beginnt heute rund 12 Tage früher als noch in der Mitte des 20. Jahrhunderts. Sowohl die Datenreihe zum Kirschbaum bei Liestal

als auch jene zu den Rosskastanien in Genf weisen eine grosse jährliche Variabilität auf.

Generell wird bei verschiedenen Pflanzenarten in der ganzen Schweiz eine Tendenz zur Verfrühung der phänologischen Frühlingsphasen festgestellt. Das zeigen die Beobachtungen im Rahmen des phänologischen Beobachtungsnetzes von MeteoSchweiz mit rund 160 Messstationen in allen Regionen und Höhenlagen (Güsewell et al. 2018). Der Frühlingsindex, der die ersten zehn beobachteten phänologischen Entwicklungsstadien im Jahr zusammenfasst, zeigt, dass sich die Vegetation seit 1989

Abb. 49: Verlauf des Frühlingsindex seit 1951

Der Frühlingsindex ist ein integrales Mass für die Abweichung der phänologischen Frühlingsphasen 1951 bis 2019 vom mittleren Eintrittstermin in der Referenzperiode 1981 bis 2010.



deutlich früher entwickelt als zuvor (Abbildung 49). Der Verlauf des Frühlingsindex über die Jahre widerspiegelt die Reaktion der Vegetation vor allem auf die Temperaturentwicklung in den Monaten Februar bis April.

5.4.2 Klarwasserphase in Seen

Seen durchlaufen typischerweise einen jahreszeitlichen Zyklus, während dessen eine sogenannte Klarwasserphase auftritt. Im Frühjahr vermehrt sich dabei zunächst das Phytoplankton, was eine erhöhte Trübung des Sees zur Folge hat. Anschliessend wird das Phytoplankton vom Zooplankton gefressen, und es ist eine Klarwasserphase zu beobachten. Der Eintritt dieser Phase ist von der Temperatur abhängig, da letztere den Beginn der Fress-tätigkeit des Zooplanktons im späten Winter und im zeitigen Frühjahr bestimmt (Anneville et al. 2002, Straile et al. 2003). Der Zeitpunkt, zu dem die Klarwasserphase einsetzt, ist ein Indikator für die Auswirkungen des Klimas auf die Dynamik der Phytoplanktongesellschaften.

Die Auswirkungen des Klimas auf Wasserorganismen sind generell nur schwer zu evaluieren, weil deren Wachstum auch von nicht klimatischen Faktoren (Nahrungsangebot, Trübung) abhängt und von umweltpolitischen Massnahmen (z. B. Revitalisierung Seeufer) beeinflusst wird. Für die Lebensbedingungen eines See-Ökosystems ist der vom Klima gesteuerte jahreszeitliche Zyklus aber von

entscheidender Bedeutung (Vereisung der Seeoberfläche, Wassertemperatur, Durchmischung³⁴ und thermische Schichtung).

Das Datum, an dem die Klarwasserphase im Genfer- und im Bodensee eintritt, variiert von Jahr zu Jahr. Seit Ende der 1980er-Jahre zeichnet sich jedoch eine Tendenz hin zu einem früheren Zeitpunkt ab (Abbildung 50). Diese Entwicklung ist auf mildere Winter und die zeitigere Entwicklung des pflanzenfressenden Zooplanktons zurückzuführen. Beim Genfersee ist beim Einsetzen der Klarwasserphase ähnlich wie bei der Blattentfaltung der Rosskastanie in Genf (Abbildung 47) ab der Jahrtausend-wende eine leichte Umkehr des Trends festzustellen.

5.4.3 Arealverschiebungen von Pflanzen

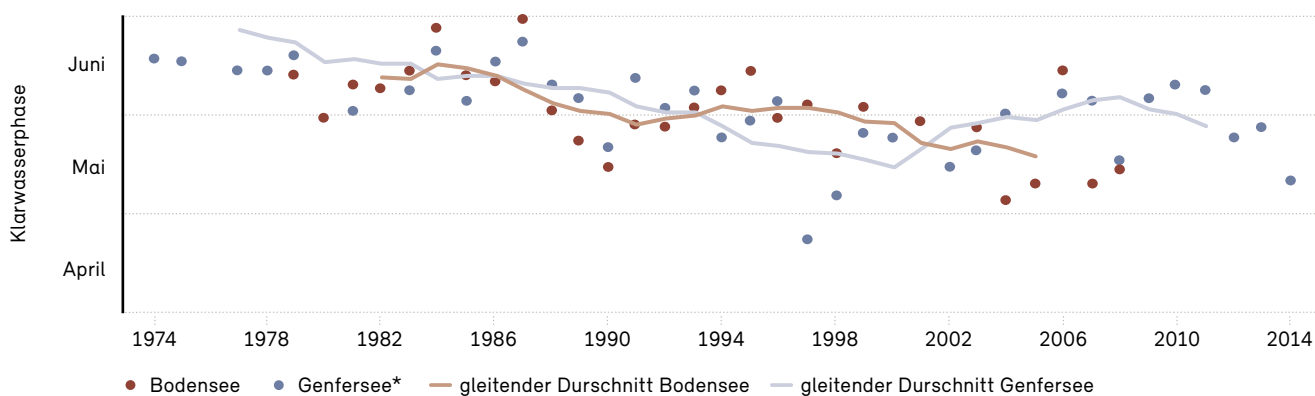
Der Klimawandel hat zur Folge, dass sich die Verbreitung von Pflanzenarten verändert. Wenn sich Perioden mit Wassermangel häufen, begünstigt dies trockenheits-resistente Arten und erlaubt ihnen, sich auf Kosten weniger toleranter Arten auszubreiten. Einige Arten können höher gelegene Standorte kolonisieren und so dem Hitzestress ausweichen (Fischer & Spehn 2016). Solche Entwicklungen haben zur Folge, dass sich die Artenzu-

³⁴ Bei der Durchmischung eines Sees (vgl. Kap. 5.1.2) wird das Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser gemischt. Dieser Prozess findet statt, wenn das Oberflächenwasser eine höhere Dichte aufweist als das Tiefenwasser.

Abb. 50: Einsetzen der Klarwasserphase

Die Daten stützen sich auf Aufzeichnungen über die maximale Transparenz des Genfersees (1974 bis 2014) und des Bodensees (1979 bis 2008).

Die gleitenden Durchschnitte wurden über sieben Jahre berechnet.



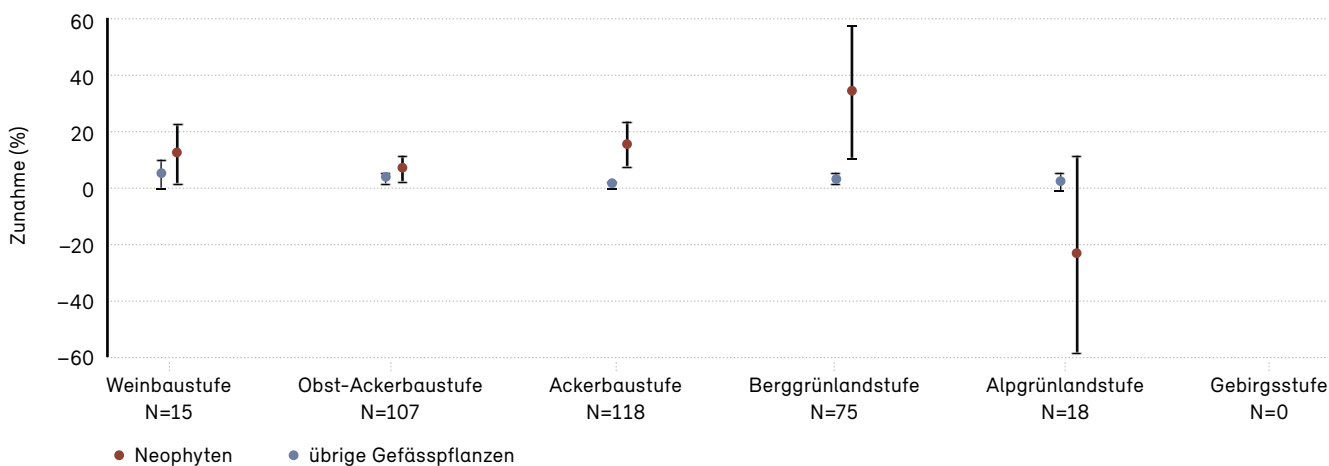
* Da sich die Zahlen von 2003, 2004, 2008, 2009 und 2014 auf Perioden und nicht auf präzise Daten beziehen, wurde für die betreffenden Jahre der Tag in der Mitte dieser Periode als Referenz verwendet.

Quelle: CIPEL (2018b), Universität Konstanz (2018)

Abb. 51: Zuwachs nicht einheimischer Gefässpflanzen

Entwicklung der durch den Menschen nach 1500 eingebrachten, nichteinheimischen Gefässpflanzen (Neophyten) im Vergleich zu den übrigen Gefässpflanzen. Pro Höhenstufe dargestellt ist der mittlere Zuwachs der Artenzahl pro Messfläche zwischen der BDM-Ersterhebung (2003 bis 2007) und der Zweiterhebung (2013 bis 2018), Vertrauensbereich 95 %. Es wurden sämtliche BDM-Messflächen 1 × 1 km berücksichtigt.

N = Anzahl der Messflächen.



Quelle: Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) (2019)

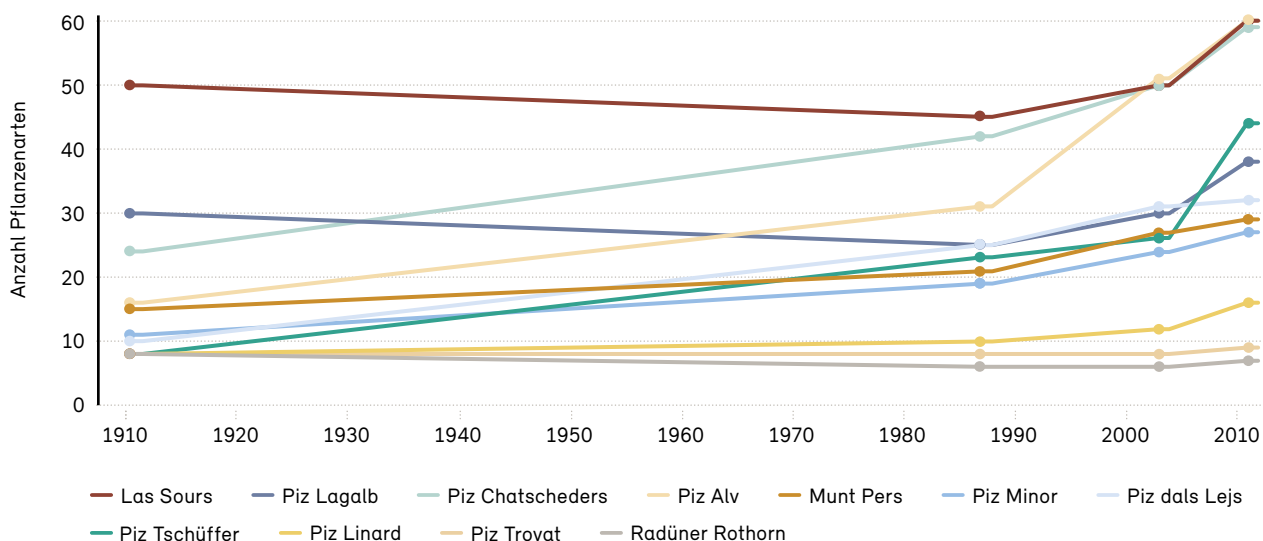
sammensetzung verändert. Mit dem Biodiversitäts-Monitoring (BDM) wird seit 2001 an rund 2000 Standorten in der Schweiz die Anzahl einheimischer und nicht-einheimischer Gefässpflanzenarten erfasst. Veränderungen der Artenzusammensetzung sind allerdings schon seit Langem dokumentiert, wobei nicht alle festgestellten Änderungen allein auf den Klimawandel zurückzuführen

sind (BAFU 2012a). Die steigende Anzahl Neophyten³⁵ ist beispielsweise auch durch für sie günstige Lebensbedingungen in den sich ausdehnenden Siedlungsgebieten begründet.

³⁵ Die Definition der Neophyten erfolgt gemäss Flora Indicativa (Landolt et al. 2010). Die Neophyten umfassen sowohl invasive als auch nicht-invasive Arten.

Abb. 52: Anzahl Blütenpflanzenarten auf Bündner Berggipfeln

Die Daten stammen aus vier Erhebungen, 1910 bis 2011.



Quelle: Auszug aus Steinbauer et al. (2018)

Ein Vergleich der Ersterhebung des BDM (2003 bis 2007) mit der Zweiterhebung (2013 – 2018) zeigt, dass sowohl die Anzahl der einheimischen als auch die der nicht einheimischen Pflanzen in den milderen Lagen des Mittellands und der Voralpen zunimmt. Bei den nicht einheimischen Arten ist der Anstieg aber grösser (Abbildung 51). Höhere Temperaturen begünstigen insbesondere die Verbreitung von Neophyten. Die starke Verbreitung von Neophyten in Wiesen und Weiden des Berggebiets ist ein relativ neues Phänomen.

Zur Zusammensetzung der Alpenflora liegen Daten vor, die sich über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren erstrecken. Über diesen Beobachtungszeitraum hinweg wird deutlich, dass die Anzahl der Pflanzenarten auf sämtlichen Gipfeln deutlich zunimmt (Abbildung 52). Unter dem Druck des Klimawandels, der im Alpenraum besonders ausgeprägt ist, dehnen Gebirgspflanzen niedrigerer Höhenstufen ihr Verbreitungsgebiet in höhere Lagen aus und bewirken dort eine Zunahme der Artenzahl. Diese Entwicklung hat sich in den letzten Jahren beschleunigt (Steinbauer et al. 2018).

Die Ankunft neuer Arten scheint bislang noch keine negativen Auswirkungen auf die ursprünglich vorhandenen Pflanzen zu haben. Arten am Rand der Höhenverbreitung

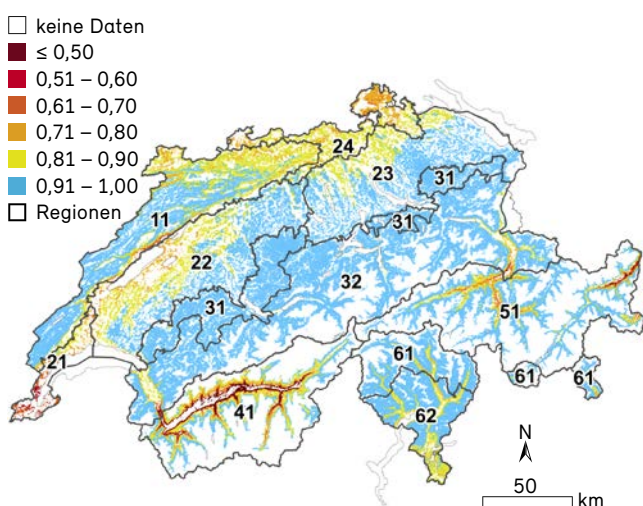
werden in den Alpen wohl selbst bei fortschreitendem Klimawandel nicht verschwinden (Körner 2009). Dank der topografischen Vielfalt der Alpen dürfte es ihnen gelingen, eine geeignete ökologische Nische zu finden. Allerdings ist damit zu rechnen, dass sich ihr Verbreitungsgebiet mit dem Rückzug in die Höhe verkleinert.

5.4.4 Veränderungen in Wäldern

Die Schweiz ist zu knapp einem Drittel bewaldet. Um die Folgen des Klimawandels für Wälder einzuschätzen, wurden im Rahmen des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel von BAFU und WSL (2009 – 2018) verschiedene Klimaparameter untersucht. Ziel war es, das Wachstum und die Mortalität von Bäumen in Relation zum Klima und seinen Änderungen zu beschreiben. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass sich die Vegetationshöhenstufen bei 3 – 4 °C Erwärmung bis Ende des 21. Jahrhunderts um etwa 500 – 700 m nach oben verschieben. Dies wird sich erheblich auf die heute noch standortgerechten Baumarten und die Waldleistungen auswirken (Frehner et al. 2018). Abbildung 53 zeigt den Mittelwert des Trockenstressindikators über die gesamte Vegetationszeit von April bis August der Jahre 1981 bis 2018. Deutlich zu erkennen sind die von Trockenheit besonders betroffenen Gebiete.

Abb. 53: Sommertrockenheit in Schweizer Wäldern

Durchschnittliche Sommertrockenheit in Schweizer Wäldern von 1981 bis 2018 für die Vegetationszeit (April bis August). Der Index ETa/ETp (aktuelle zu potenzieller Evapotranspiration) zeigt an, wie stark die Evapotranspiration aufgrund von Trockenheit eingeschränkt werden kann. Werte von 0.8 und darunter sind zunehmend kritisch. Biogeographische Regionen nach Gonseth et al. 2001: 11 Jura, 21 Genf/Waadt, 22 Westliches Mittelland, 23 Östliches Mittelland, 24 Nordschweiz, 31 Voralpen, 32 Nordalpen, 41 Westliche Zentralalpen, 51 Östliche Zentralalpen, 61 Südalpen, 62 Südlicher Tessin.



Quelle: Remund & Augustin (2015), aktualisiert 2019

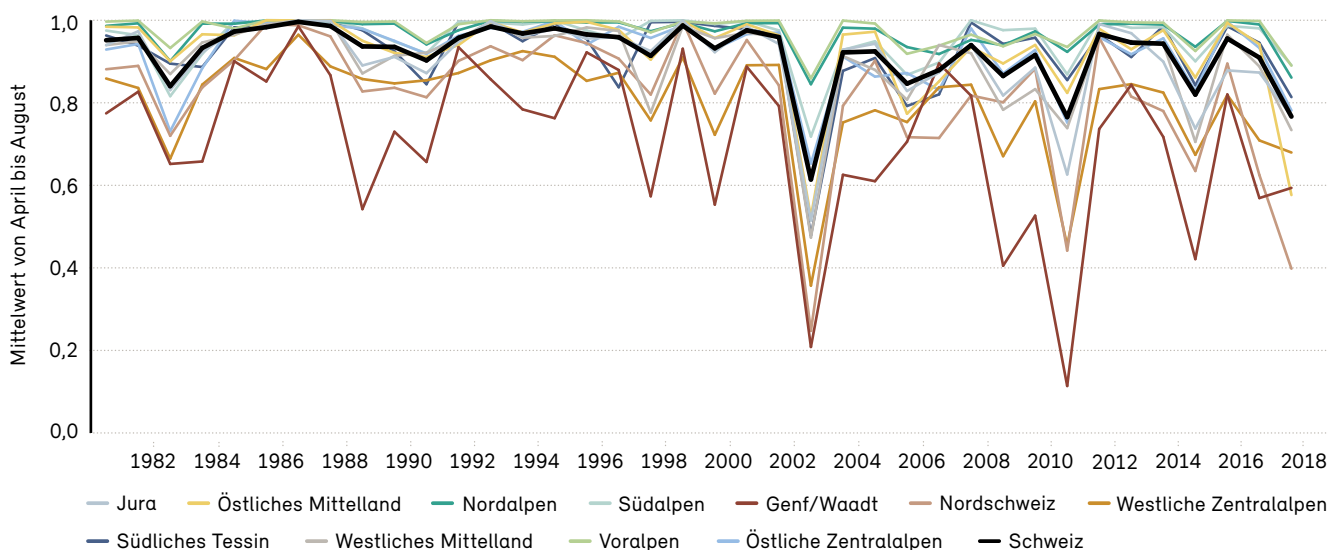
Abbildung 54 zeigt die zeitliche Entwicklung des Trockenstressindikators ETa/ETp seit 1981. Niedrigste Werte wurden in den Jahren 2003, 2011, 2015 und 2018 erreicht, am deutlichsten in Genf und in der Waadt, in den westlichen Zentralalpen (Wallis), aber auch in der Nordschweiz. Schweizweit ist in den letzten 38 Jahren ein Trend hin zu grösserer Sommertrockenheit festzustellen.

Wälder oder einzelne Baumarten können an vielen Standorten von höheren Sommertemperaturen profitieren, sofern genügend Wasser verfügbar ist. So wuchsen die Bäume im Trockenjahr 2003 in Lagen oberhalb von 1200 m ü. M. besser, im Gegensatz zu Bäumen in tieferen Lagen, wo oft Wassermangel herrschte (Dobbertin et al. 2005). In den Trockentälern des Wallis verdrängen die trockenheitstoleranten Flaumeichen zunehmend die empfindlicheren Waldföhren (Bigler et al. 2006).

Baumbestände, die den sich ändernden Klimabedingungen nicht angepasst sind, haben ein erhöhtes Risiko unter zunehmender Trockenheit zu leiden. So gibt es in den Tieflagen des Mittellandes wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung viele Fichtenbestände (33 %). Fichten reagieren sensibel auf Wassermangel und erhöhte Temperaturen, da sie an kühlere und feuchtere Bedin-

Abb. 54: Veränderungen des Trockenstressindex

Veränderungen des Trockenstressindex ETa/ETp in den Jahren 1981 bis 2018 für die Regionen und die ganze Schweiz während der Vegetationszeit April bis August. Je tiefer die Werte, desto höher der Trockenstress.



Quelle: Remund & Augustin (2015), aktualisiert 2019

gungen angepasst sind. Tannen, die rund 12% der Bäume im Schweizer Mittelland ausmachen, können höhere Temperaturen besser vertragen, brauchen aber ausreichend (Luft-)feuchtigkeit (Vitasse et al. 2019). Eiche und Ahorn sind dagegen recht gut an wärmere und trockenere Bedingungen angepasst. In den trockenen Sommern der Jahre 2003 und v. a. 2018 hat die Mortalität von Fichten vorübergehend deutlich zugenommen, auch ist nach Trockenjahren das Risiko für grosse Schäden durch Borkenkäfer erhöht. Im Jahr 2018 waren vielerorts auch die Buchen stark durch die Trockenheit beeinträchtigt. Eine Überdüngung der Bäume mit Stickstoff aus der Luftverschmutzung und eine Unterversorgung mit Kalium und Magnesium sind weitere Begleitfaktoren, die die trockenheitsbedingte Mortalität erhöhen können (Etzold et al. 2016; Braun et al. 2015, 2018).

Die Spätfrostgefährdung ist in den letzten Jahrzehnten ebenfalls gestiegen. Die Bäume treiben aufgrund des früheren Temperaturanstiegs früher aus und sind damit anfälliger gegenüber Spätfrosten (Vitasse et al. 2018).

5.4.5 Fischbestände

Der Klimawandel hat einen erheblichen Einfluss auf die Gewässerökosysteme und auf die räumliche Verteilung der Fischfauna und deren Bestände. Die Entwicklung der Fischbestände wird in der Regel mithilfe von Fangzahlen ermittelt. Diese hängen jedoch nicht nur von den Bestän-

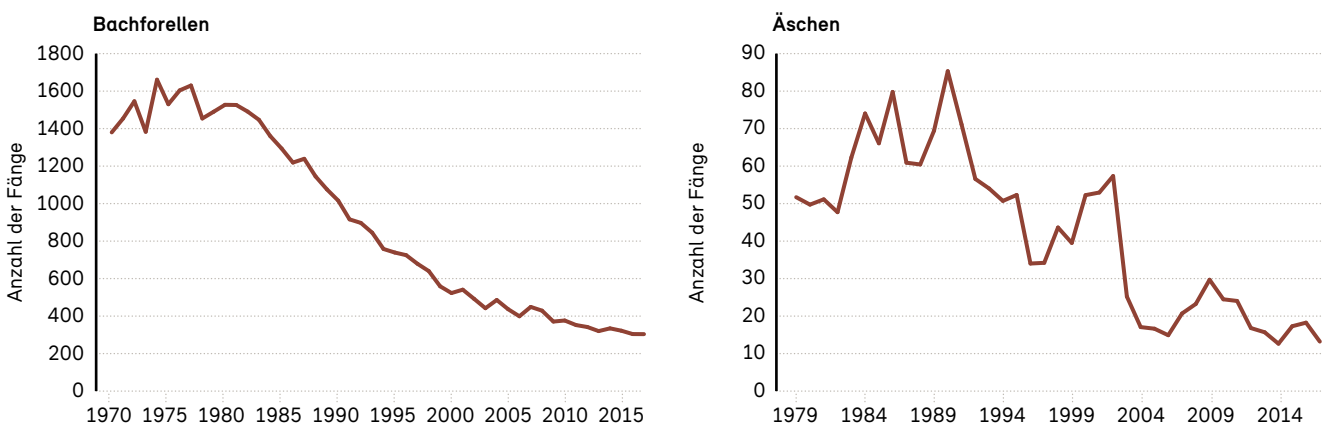
den ab, sondern auch von den Fangbemühungen und vom Verhalten der Anglerinnen und Angler. Für die Bachforelle und die Äsche sind die Fänge zwischen 1990 und 2000 drastisch zurückgegangen, wobei diese Abnahme seit 2000 etwas weniger ausgeprägt ist (Abbildung 55). Zumindest ein Teil dieser Fangrückgänge lässt sich auf die Abnahme der Bestände zurückführen.

Für Wachstum und Fortpflanzung ist die Bachforelle auf kühles und sauerstoffreiches Wasser angewiesen. Der Anstieg der durchschnittlichen Wassertemperaturen (vgl. Kap. 5.1.2) wird langfristige Auswirkungen auf die Verbreitung der Arten und ihre potenziellen Lebensräume haben. Bei Wassertemperaturen von über 25 °C haben kälteliebende Fischarten wie die Bachforelle und die Äsche gesundheitliche Probleme. Daneben wirken sich auch Häufigkeit und Intensität von Winterhochwassern, Trockenperioden und Extremtemperaturen auf die Fischbestände aus. Beispielsweise legen Bachforellen ihre Eier zwischen Ende Herbst und Anfang Winter im Kies ab. Starke Winterhochwasser können den Laich dezimieren und damit den Erfolg der natürlichen Fortpflanzung gefährden.

2018 hatten zwei Drittel der Kantone mit einem Fisch- und Krebssterben zu kämpfen, das auf die hohen Wassertemperaturen und die Trockenheit zurückzuführen war. Bereits 2003 wurden rund 150 klimabedingte Fälle von Fischsterben dokumentiert (BAFU 2019f).

Abb. 55: Bachforellen- und Äschenfänge

Bachforellenfänge 1970 bis 2017 (links) und Äschenfänge 1979 bis 2017 (rechts) schweizerischer Hobbyangler. Die Daten für den Zeitraum bis 2001 wurden auf der Grundlage der obligatorischen Fangstatistiken rekonstruiert.



Quelle: BAFU (2019b)

5.4.6 Brutvogelbestände

Der Einfluss des Klimawandels auf Brutvögel ist vielfältig. Beispielweise kann sich das Brutgebiet von Vogelarten ausdehnen oder verkleinern (Maggini et al. 2014). Mit dem Swiss Bird Index SBI® Climate Change Plus (SBI® CC plus) wird der jährliche Bestandstrend für jene 20 Arten zusammengefasst, für die der grösste Gewinn des Verbreitungsgebiets in der Schweiz erwartet wird. Mit dem SBI® Climate Change Minus (SBI® CC minus) wird die Bestandsentwicklung jener Arten zusammengefasst, für die die grössten Verluste vorausgesagt werden (Zbinden et al. 2012). Die Arten des SBI® CC plus haben – im Durchschnitt und relativ zu allen anderen Brutvogelarten – seit 1990 stark zugenommen (Abbildung 56). Einige dieser Arten haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im Mittelmeerraum und dehnen sich Richtung Norden aus (z.B. Bienenfresser, Orpheusspötter; Knaus et al. 2018). Demgegenüber zeigen die Arten des SBI® CC minus keinen entsprechend starken Negativtrend.

Viele Studien belegen, dass Arten, die einen Rückgang erfahren, zuerst in ihrer Häufigkeit zurückgehen, bevor sie lokal ganz verschwinden und ihr Areal schrumpft. Somit fallen Zunahmen in der Verbreitung viel schneller auf, als Abnahmen in der Häufigkeit. Dies trifft auch auf den Swiss Bird Index zu: Zwischen der Bestandsschätzung von 1993 – 1996 und jener von 2013 – 2016 haben die 20 Arten aus dem SBI® CC plus um insgesamt rund 7700 Brutpaare zugenommen (von 25 400 auf 33 100). Bei der Gruppe des SBI® CC minus haben die 20 meist subalpinen und alpinen Arten zusammen über denselben Zeitraum um rund 91 000 Brutpaare (von 453 000 auf 362 000) abgenommen (Knaus et al. 2019, 2018).

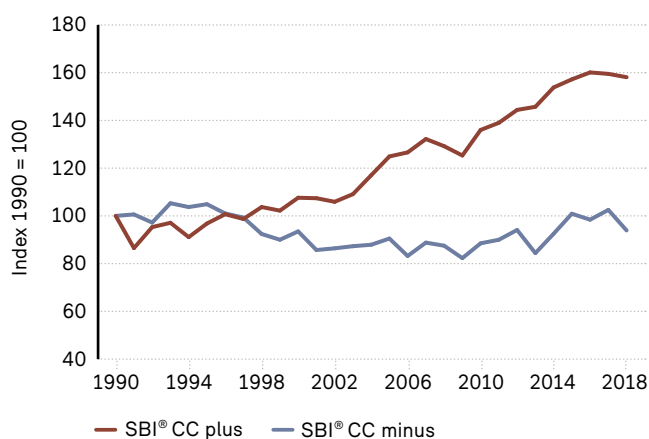
Einer der Gründe für die schwindende Häufigkeit könnte in der veränderten Höhenverbreitung liegen. Ein Vergleich der Höhenverbreitung von 2013 – 2016 mit derjenigen von 1993 – 1996 zeigt, dass rund zwei Drittel der 71 häufigsten Vogelarten heutzutage in grösseren Höhen vorkommen als noch vor 20 Jahren (Abbildung 57). Der Schwerpunkt des durchschnittlichen Höhenvorkommens dieser Arten stieg um 24 m an. Da die Fläche und somit auch der zur Verfügung stehende Lebensraum in den Bergen gegen oben hin abnimmt, gehen die Bestände von aufwärts wandernden Arten zwangsläufig zurück. Alpine Arten weisen einen besonders starken Höhenanstieg auf: Von den 71 häufigs-

ten Arten stiegen die Vorkommen der zehn ursprünglich am höchsten vorkommenden Arten im Durchschnitt um ganze 51 m (Knaus et al. 2018). Unter diesen Bergvögeln sind besonders viele alpine Arten, für welche die Schweiz eine besondere Verantwortung trägt (Keller et al. 2010).

Neben dem Einfluss des Klimawandels werden diese festgestellten Veränderungen zusätzlich auch von sich ändernden Lebensräumen und wechselnden Konkurrenzverhältnissen beeinflusst (Møller et al. 2010, Barbet-Massin et al. 2012). Beispielsweise haben auch die Intensivierung der Landwirtschaft in Gunstlagen und die Nutzungsaufgabe mit folgender Wiederbewaldung in wenig ertragsreichen Lagen ihren Einfluss auf die Schweizer Brutvögel (Knaus et al. 2018).

Abb. 56: Bestandsentwicklung von Brutvogelarten

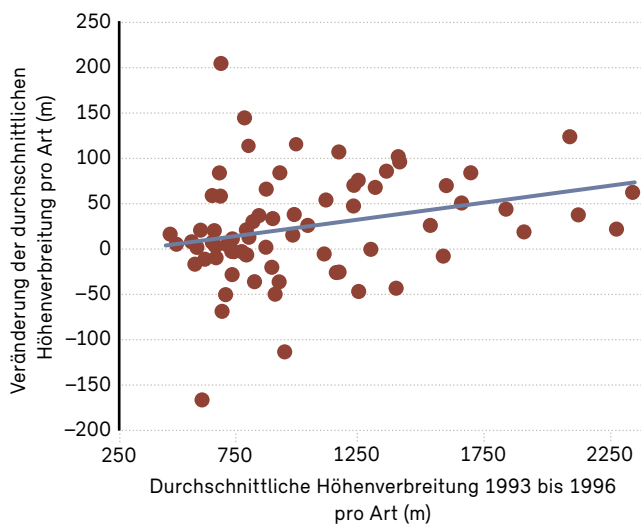
Relative Bestandsentwicklung 1990 bis 2018 von zwei Artengruppen, für die eine starke Schrumpfung (SBI® CC minus) resp. Ausdehnung (SBI® CC plus) des Verbreitungsgebietes in der Schweiz bis Ende des 21. Jahrhunderts vorausgesagt wird. Die jährlichen Werte entsprechen dem geometrischen Mittel der Indexwerte der Einzelarten.



Quelle: Knaus et al. (2019)

Abb. 57: Veränderung der Höhenverbreitung der 71 häufigsten Schweizer Brutvögel

Veränderung der Höhenverbreitung von 1993–1996 bis 2013–2016 der 71 häufigsten Schweizer Brutvogelarten in Abhängigkeit von ihrer durchschnittlichen Höhenverbreitung. Arten mit einem bereits hohen Verbreitungsschwerpunkt weisen einen besonders starken Höhenanstieg auf. Die Populationen einiger dieser Bergvögel haben deutlich abgenommen (Knaus et al. 2018).



Quelle: Knaus et al. (2018)

6 Auswirkungen des Klimawandels auf die anthropogenen Systeme

Der Klimawandel übt einen bereits spürbaren Druck auf die Gesellschaft in der Schweiz aus. Eine Übersicht liefert der Bericht «Klimabedingte Risiken und Chancen» (Köllner et al. 2017). Er zeigt auf, dass mit deutlich mehr negativen Auswirkungen als positiven zu rechnen ist. Verschiedene Indikatoren illustrieren die z. B. gravierenden Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Kap. 6.1). Weitere Auswirkungen betreffen die Energiewirtschaft (Kap. 6.2), die Wasserwirtschaft (Kap. 6.3), den Wintertourismus (Kap. 6.4) sowie den Umgang mit Naturgefahren, die Raumentwicklung und die Landwirtschaft (Kap. 6.5). In bestimmten Bereichen liegen noch zu wenige Daten vor, um kausale Zusammenhänge herstellen zu können. Zwei solche Bereiche, bei denen sich die Auswirkungen bis anhin noch kaum quantifizieren lassen, sind die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels (Kap. 6.6) und die internationalen Risiken (Kap. 6.7).

6.1 Menschliche Gesundheit

6.1.1 Auswirkungen von Hitzewellen auf die Sterblichkeit und Notfall-Spitaleintritte

Hitze belastet den menschlichen Organismus. Wird der Körper hohen Temperaturen ausgesetzt, versucht er sich durch Schwitzen und eine erhöhte Durchblutung der Haut abzukühlen. Akute Auswirkungen einer unzureichenden Regulierung der Körpertemperatur sind Dehydrierung, Krämpfe und Bewusstlosigkeit. Die Thermoregulation bei längeren Hitzeexpositionen stellt eine Belastung für das Herz-Kreislauf-System dar und erhöht die Wahrscheinlichkeit für Komplikationen bei Personen mit bestehenden, chronischen Krankheiten des Herzes, der Lunge oder der Niere. Ältere Menschen sind aufgrund ihrer weniger effizienten Wärmeregulierung besonders gefährdet, aber auch Säuglinge sind anfällig für Hitze und deren Folgen.

Die Zunahme von Todesfällen während den Hitzewellen in den Sommern 2003, 2015 und 2018 illustrieren, welche schweren Folgen Extremtemperaturen für die menschliche Gesundheit haben können (Abbildung 58). Im Rekord-

sommer 2003 verursachte die Hitzewelle rund 70 000 zusätzliche Todesfälle in Europa (Robine et al. 2008). In der Schweiz starben damals zwischen Juni und August 975 Personen mehr als statistisch im gleichen Zeitraum zu erwarten war. Dies entspricht einer Zusatzsterblichkeit von 6,9 % (Grize et al. 2005). Auch im Sommer 2015 – der bisher zweitheisseste Sommer seit Messbeginn 1864 – wurde eine erhöhte Sterblichkeit beobachtet. Damals waren ungefähr 800 zusätzliche Todesfälle zu beklagen, was einer Zusatzsterblichkeit von 5,4 % entspricht (BAFU 2016). Im ebenfalls heissen Sommer 2018 führte die Hitzebelastung im August zu ungefähr 200 zusätzlichen Todesfällen, 3,4 % mehr als im selben Zeitraum normalerweise auftreten. Die Zunahme der Todesfälle während der Hitzewelle im August 2018 fiel in der Deutschschweiz am deutlichsten aus.

Tropennächte (Minimaltemperaturen über 20 °C) sind besonders belastend für den Organismus, denn der menschliche Körper kann sich nicht mehr erholen (Ragettli et al. 2017). In Städten sind Tropennächte häufiger als auf dem Land. Die durch die Gebäude eingeschränkte Luftzirkulation, die Absorption der Sonneneinstrahlung durch Strassen und Gebäude sowie die Abwärme von industriellen Prozessen, Verkehr und Kühlsystemen führen zum sogenannten städtischen Hitzeinseleffekt. Dieser bewirkt, dass in dicht bebauten Gebieten die Erwärmung tagsüber stärker und die nächtliche Abkühlung schwächer ist als im grünen Umland.

Hitzewellen führen auch zu einer erhöhten Anzahl Notfall-Spitaleintritte. Analysen zum Hitzesommer 2015 zeigen, dass die häufigsten Ursachen für die zusätzlichen Eintritte Infektionskrankheiten, Erkrankungen des Urogenitalsystems, Krankheiten des Verdauungssystems sowie Lungenentzündungen waren. Die schnellere Verbreitung von Viren und Bakterien an heissen Tagen scheint für Spitaleintritte einen wichtigen Einfluss zu haben (Ragettli et al. 2019). Während Hitzewellen kann auch die Belastung durch bodennahes Ozon negative gesundheitliche Folgen haben. Hohe Ozonkonzentrationen werden mit

dem kurzfristigen Anstieg von Spitaleinweisungen wegen Atemwegserkrankungen sowie mit vorzeitigen Todesfällen in Verbindung gebracht (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

6.1.2 Beginn der Gräserpollensaison

Gräserpollen sind in der Schweiz die wichtigsten Auslöser von Allergien. Der Beginn des Pollenflugs ist deshalb für Allergikerinnen und Allergiker wichtig. Er hängt eng mit den Frühlingstemperaturen, vor allem mit den Temperaturen von März bis Mai zusammen. Je höher diese sind, umso früher beginnt die Pollensaison. Der Beginn ist definiert als das erstmalige Überschreiten einer mittleren täglichen Pollenkonzentration von 20 Pollen/m³, dem Schwellenwert für mässige Belastung.

Der Eintrittstermin der Gräserblüte, berechnet als Mittelwert für die Messstationen Basel, Buchs SG, Genf, Neuenburg und Zürich, verfrühte sich seit 1982 um 9 Tage (Abbildung 59). Die Dauer der Gräserpollensaison, die neben der Witterung auch von der landwirtschaftlichen Nutzung abhängt, nahm seit 1982 von 105 auf 88 Tage ab.

Die Pollenmessungen von MeteoSchweiz dienen nicht nur den Personen mit einer Pollenallergie als kurzfristige Warnung. Sie sind auch ein wichtiger Indikator für die Ver-

änderung der Pollensaison aufgrund des Klimawandels. Der Beginn der Pollensaison von weiteren allergenen Arten wie Birke, Esche, Hasel und Erle zeigt ein sehr ähnliches Muster wie der Frühlingsindex (vgl. Kap. 5.4.1).

Abb. 59: Beginn der Gräserpollensaison

Gemittelter Beginn der Gräserpollensaison 1982 bis 2018 für die Messstationen Basel, Buchs (SG), Genf, Neuenburg und Zürich. Der Trend ist mit einem 5-jährigen gleitenden Mittel dargestellt.

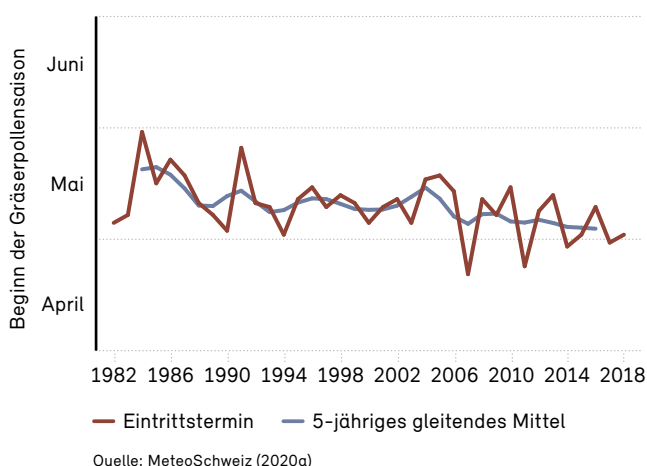
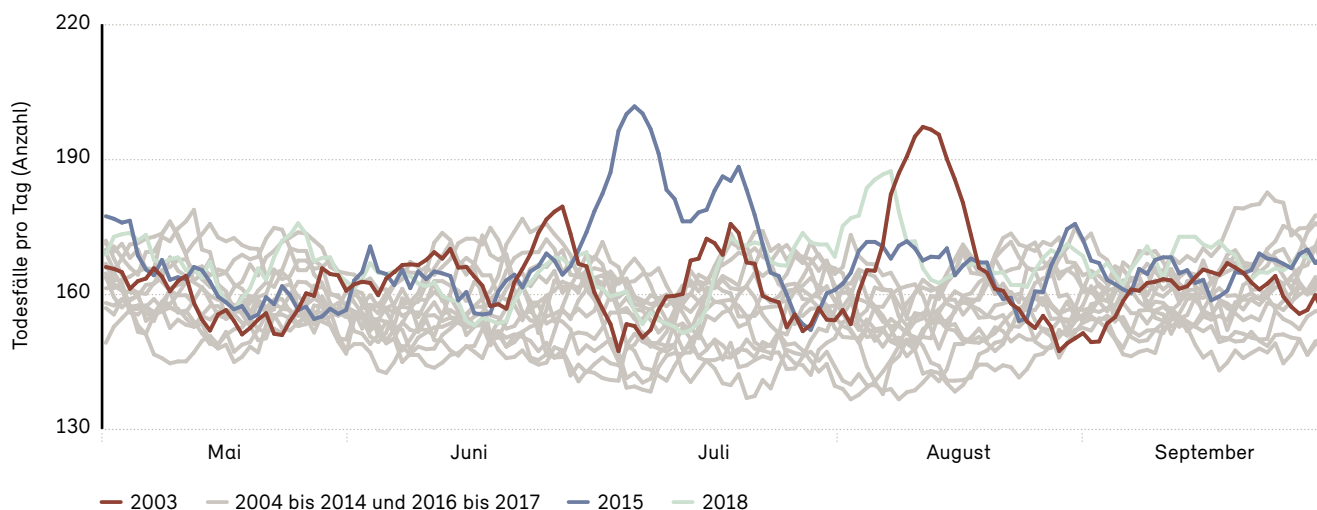


Abb. 58: Anzahl Todesfälle pro Tag für die Jahre 2003 bis 2018 während der warmen Jahreszeit

Todesfälle im Zeitraum Mai bis September in der Schweiz. Geglättete Linien aus den Mittelwerten von 7 Tagen (je 3 Tage vor und nach dem eingezeichneten Wert). Absolute Werte ohne Korrektur für das Bevölkerungswachstum zwischen 2003 und 2018.



6.1.3 Ausbreitung der Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten

Lyme-Borreliose und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) sind die häufigsten Krankheiten, die in der Schweiz von Zecken auf den Menschen übertragen werden. Gemäss einer Schätzung des Bundesamts für Gesundheit (BAG) erkrankten im Zeitraum 2008–2018 jährlich zwischen 7712 und 21024 Personen neu an Lyme-Borreliose (BAG 2019a). Dabei waren die Fallzahlen im Jahr 2018 besonders hoch (Abbildung 60). Bei den FSME-Fällen ist in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Seltener werden durch Zecken auch Krankheiten wie die Anaplasmose, Rickettsiose, Babesiose, Neoehrlichiose oder die Tularämie verbreitet.

Der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*) ist die in der Schweiz am häufigsten vorkommende Zeckenart und bekannt als Überträger der Borreliose und des FSME-Virus. Er ist vor allem zwischen März und November aktiv und hält sich häufig im Unterholz von Laubwäldern, an Waldrändern oder auf Lichtungen auf.

Parallel zum Klimawandel ist in unseren Breitengraden eine Ausbreitung der Zecken in höhere Lagen und eine Verlängerung ihrer jahreszeitlichen Aktivität feststellbar (Ogden & Lindsay 2016). Die zunehmende Präsenz der Zecken könnte einen Anstieg der Krankheitsfälle teilweise erklären. Gleichzeitig ändern sich bei wärmerem Wetter auch Freizeitverhalten und Bekleidung des

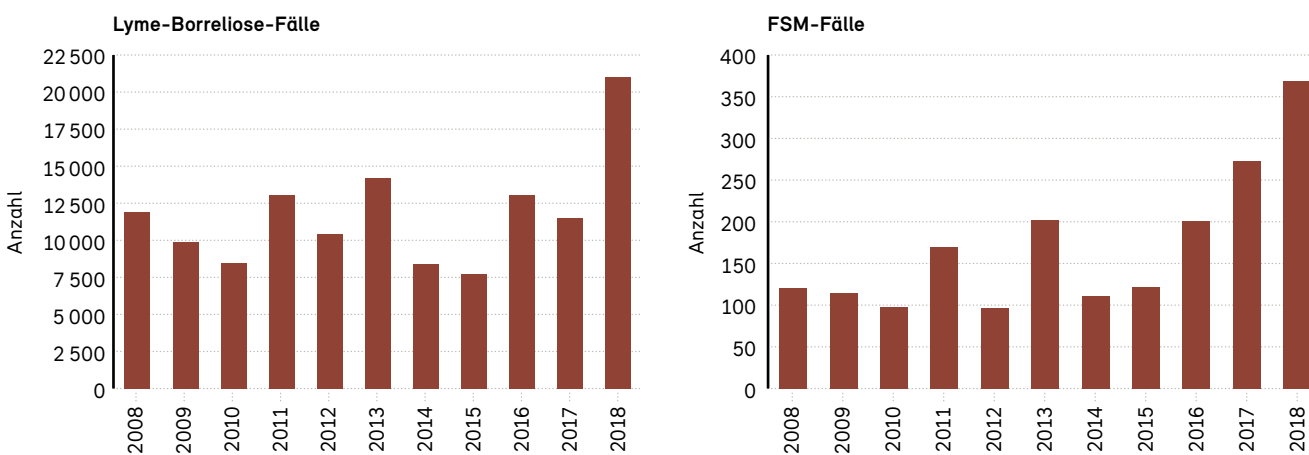
Menschen, was die Wahrscheinlichkeit des Kontakts mit Zecken erhöht (Randolph et al. 2008). Neben dem Klimawandel spielen darüber hinaus weitere Faktoren wie z. B. Veränderungen der natürlichen Lebensräume eine wichtige Rolle. Sie können einen viel grösseren Einfluss auf die Dynamik der Krankheitsübertragungen haben als das Klima (Léger et al. 2013).

In die Schweiz werden immer wieder auch exotische Zeckenarten der Gattung *Hyalomma* durch Zugvögel eingeschleppt (Papadopoulos 2002) und haben sich vermutlich im Kanton Tessin etabliert (ECDC 2019). Diese im Süden von Europa, in Afrika und in Asien verbreiteten Zecken sind gut an ein warmes und trockenes Klima angepasst und könnten sich deshalb mit dem Klimawandel auch in der Schweiz ausbreiten (Chitimia-Dobler et al. 2019). In Deutschland wurden 2019 erstmalig *Hyalomma*-Zecken vor dem Eintreffen der Zugvögel nachgewiesen, was für eine Überwinterung dieser Zecken nördlich der Alpen spricht (Universität Hohenheim 2019). Theoretisch können diese Zecken Krankheitserreger wie Rickettsien oder das Krim-Kongo-Fieber übertragen.

6.1.4 Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke

Die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) ist eine invasive gebietsfremde Stechmücke, die gesundheitsgefährdende Viren wie Dengue, Chikungunya oder Zika übertragen kann. In der Schweiz sind bisher keine Krankheitsübertragungen belegt. Jedoch ist die Asiatische Tiger-

Abb. 60: Anzahl der an Lyme-Borreliose (links) und an FSME (rechts) erkrankten Personen

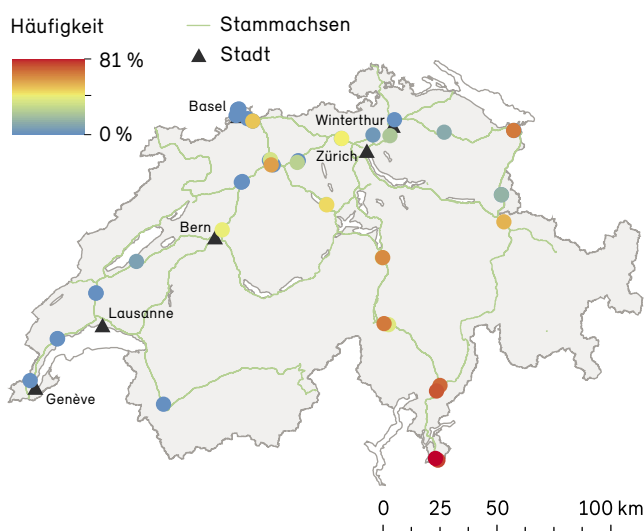


Quelle: BAG (2019c)

mücke unabhängig davon sehr lästig, da sie auch während des Tages sticht und im Siedlungsraum vorkommt.

Die Asiatische Tigermücke stammt ursprünglich aus Südostasien und hat sich durch den globalisierten Handel (insbesondere mit Altreifen und Zierpflanzen) und den internationalen Reiseverkehr weltweit ausgebreitet. Über den Güter- und Reiseverkehr wird die Asiatische Tigermücke auch in die Schweiz eingeschleppt (Abbildung 61). Sie wurde 2003 erstmals im Kanton Tessin entdeckt (Flacio et al. 2004). Seither breitete sie sich in Richtung Norden aus (Flacio et al. 2016). Mit der Erwärmung des Klimas in der Schweiz ist zu erwarten, dass sich die Asiatische Tigermücke auch in Regionen ansiedeln wird, wo die klimatischen Bedingungen vorerst noch ungünstig sind (Neteler et al. 2013).

Abb. 61: Einschleppung der Asiatischen Tigermücke entlang der Hauptverkehrsachsen



Quelle: Müller et al. (2019), Base map: swisstopo

Ein wärmeres Klima könnte auch die Dauer der Bildung von Mückengenerationen verkürzen, so dass sich rascher grössere Populationen bilden. Gleichzeitig sind höhere Temperaturen für Krankheitserreger günstig, womit das Risiko einer Dengue- oder Chikungunya-Übertragung steigt. Auch andere, durch einheimische Mückenarten übertragene Krankheitserreger wie das West-Nil-Virus könnten durch den Klimawandel begünstigt werden

(Shlomit 2015). Allerdings beeinflussen neben dem Klima weitere Faktoren die Verbreitung von Stechmücken und Krankheitserregern, weshalb genaue Prognosen für die Zukunft kaum möglich sind.

6.2 Energieproduktion und Energieverbrauch

Der Klimawandel wirkt sich auf die Energieproduktion aus. Veränderungen der Niederschlagsverteilung (vgl. Kap. 3.3), die Intensivierung von extremen Wetterereignissen (vgl. Kap. 3.3.2), oder auch die Gletscherschmelze (vgl. Kap. 5.2.1) zählen zu den Faktoren, die die Wasserkraftproduktion beeinträchtigen können (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). Im Winter dürfte die Wasserkraftproduktion gesteigert werden, im Sommer hingegen könnte die Produktion aufgrund von Trockenheit abnehmen (Köllner et al. 2017). Häufigere und intensivere Naturereignisse (vgl. Kap. 6.5), insbesondere Massenbewegungen, können zudem gewisse Transportleitungen für Elektrizität und Gas gefährden (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). Hinzu kommt, dass Infrastrukturen für Produktion und Transport der Energie, die die Schweiz aus dem Ausland importiert, ebenfalls den Folgen des Klimawandels ausgesetzt sind (vgl. Kap. 6.7).

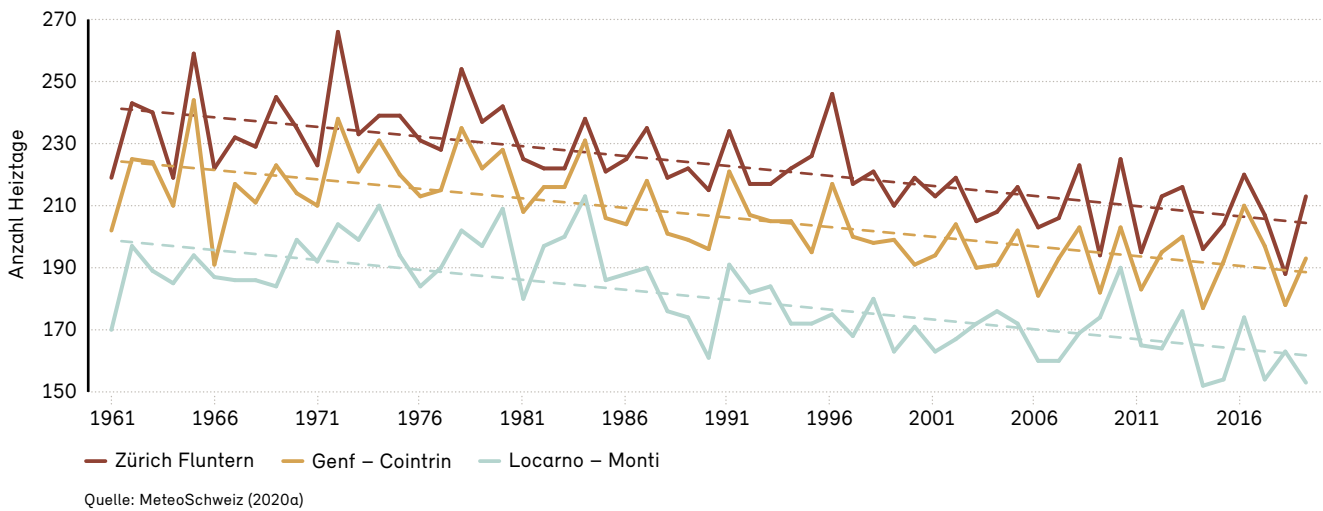
Aufgrund der Witterung ging der Endenergieverbrauch zwischen 2000 und 2018 über alle Energieträger um 13,6 PJ zurück. Dies entspricht einem Rückgang von 1,6 % des Endenergieverbrauchs seit dem Jahr 2000 (Prognos, TEP, Infras 2019a). Die Erhöhung der Durchschnittstemperatur und die damit verbundene Häufung von milden Wintern werden dazu führen, dass der winterliche Heizenergieverbrauch weiter abnimmt. An Klimastationen aller Landesteile ist ein starker Rückgang der Heiztage festzustellen. Dieser beträgt durchschnittlich 6 Tage pro Dekade bzw. –16,6 % für die Periode 1961 – 2019.

Für den Sommer ist andererseits damit zu rechnen, dass die steigenden Durchschnittstemperaturen einen höheren Kühlenergieverbrauch nach sich ziehen (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). Die Entwicklung der Kühltage³⁶ zeigt eine stark zunehmende Tendenz von 6,8 Tagen pro Dekade oder +93 % in der Periode 1961 – 2019 (Abbildung 63).

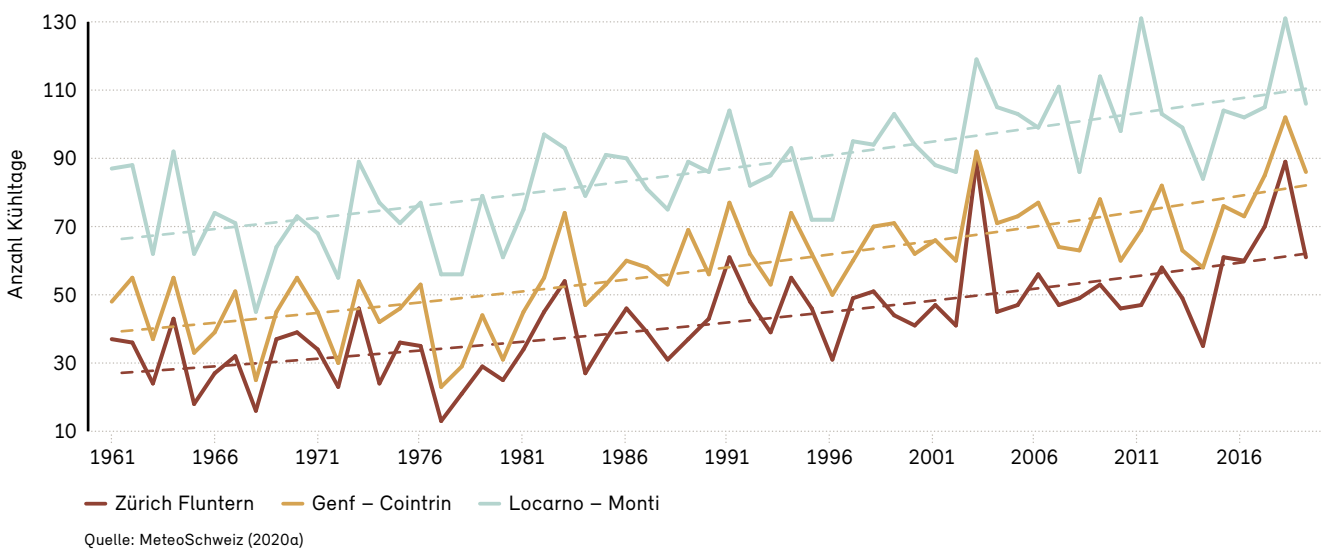
³⁶ 36 Tage, an denen die mittlere Aussentemperatur mehr als 18,3°C beträgt und daher der Wunsch nach Raumkühlung aufkommen kann

Abb. 62: Heiztage

Anzahl Tage pro Jahr mit Tagesmitteltemperaturen unter 12 °C im Zeitraum 1961 bis 2019. Die gestrichelten Linien zeigen lineare Trends.

**Abb. 63: Kühltage**

Anzahl Tage pro Jahr mit Tagesmitteltemperaturen über 18,3 °C im Zeitraum 1961 bis 2019. Die gestrichelten Linien zeigen lineare Trends.



6.3 Wasserwirtschaft

Die jüngste Vergangenheit hat gezeigt, dass es auch in der Schweiz während Hitze- und Trockenperioden zu zeitlich und örtlich begrenzten Einschränkungen bei der Wasserversorgung kommen kann. Insbesondere die Sommer 2003, 2015 und 2018 waren aussergewöhnlich trocken.

Mit dem fortschreitenden Klimawandel und zunehmender Trockenheit dürften Knappheitssituationen häufiger werden, und der Druck auf die Wasserressourcen nimmt zu.

Während des Hitzesommers 2015 riefen mehrere Gemeinden in zehn Kantonen zum Wassersparen auf (BAFU 2016, Abbildung 64). Auch im Sommer 2018 waren in einigen

Abb. 64: Wassersparaufrufe und Versorgungsengpässe 2015 und 2018

Links: Situation 2015; rechts: Situation 2018.

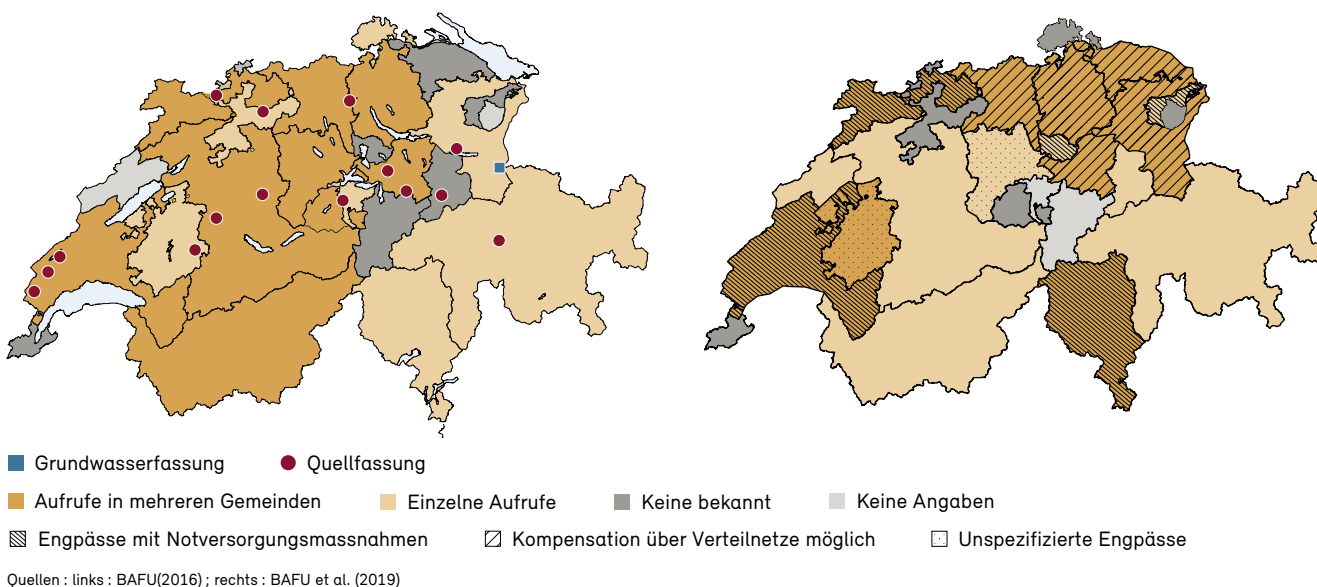
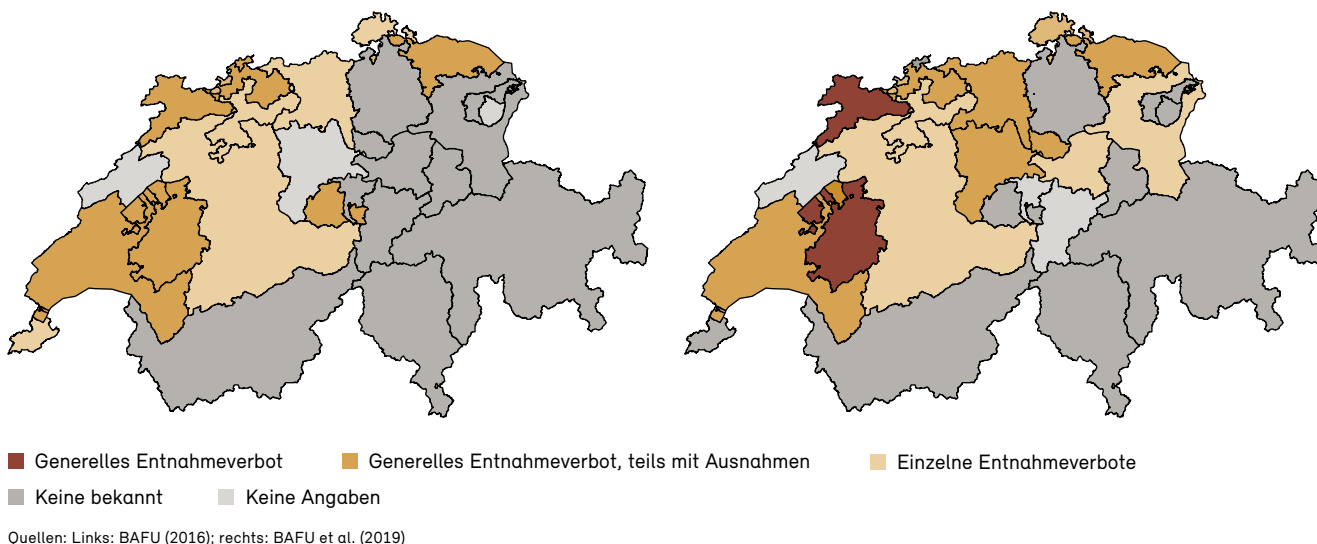


Abb. 65: Wasserentnahmen: Verbote und Einschränkungen 2015 und 2018

Links: Situation 2015; rechts: Situation 2018



Regionen Situationen von Wasserknappheit zu verzeichnen (BAFU et al. 2019). Betroffen war vor allem die Nordostschweiz. Wegen der geringen Niederschläge gingen die Quellschüttungen ab dem Frühling nach und nach zurück. Im August 2018 wurden vielerorts ausgeprägte Tiefstände erreicht, und einzelne Quellen versiegten sogar ganz. Die Versorgungsengpässe konnten mehrheitlich über die Zulieferung aus benachbarten Versorgungsnetzen aufgefangen werden. Allerdings mussten in sechs Kantonen Notversorgungsmassnahmen eingerichtet werden.

Bezüglich Wasserentnahmen der Landwirtschaft mussten in den Sommern 2015 und 2018 vor allem in den Kantonen entlang des Jurarandbogens, im Seeland und in der Nordostschweiz Verbote und Einschränkungen ausgesprochen werden (BAFU 2016, BAFU et al. 2019, Abbildung 65).

Auch die Einleitung von Kühlwasser in Fließgewässer kann während Perioden mit Hitze und Trockenheit Probleme verursachen. Das eingeleitete Kühlwasser darf das Gewässer um höchstens 3 °C erwärmen, in Forellenregionen um höchstens 1,5 °C (Gewässerschutzverordnung (GSchV) SR 814.201). Um die gesetzlichen Vorschriften zur Kühlwassereinleitung einzuhalten, musste z. B. das Kernkraftwerk Mühleberg seine Leistung 2015 während 16 Tagen um 20 % reduzieren (BAFU 2016).

6.4 Wintertourismus

Die Tourismusstrategie des Bundes führt die Abnahme der Schneesicherheit infolge des Klimawandels als Risiko für den Schweizer Tourismus auf (Schweizerische Eidgenossenschaft 2017). Im Wintertourismus sind das Vorhandensein von Schnee und die Dicke der Schneedecke (vgl. Kap. 3.4) entscheidend für den ökonomischen Erfolg (König & Abegg 1997). Die Anzahl Betriebstage der Skigebiete variiert zwar witterungsbedingt stark von Saison zu Saison. Die Entwicklung zwischen den Saisons 2009/10 und 2017/18 zeigt jedoch einen rückläufigen Trend. Wurden in der Saison 2009/10 pro Skigebiet durchschnittlich 135 Betriebstage gezählt, so waren es in der Saison 2017/18 nur noch deren 97 (Abbildung 66).

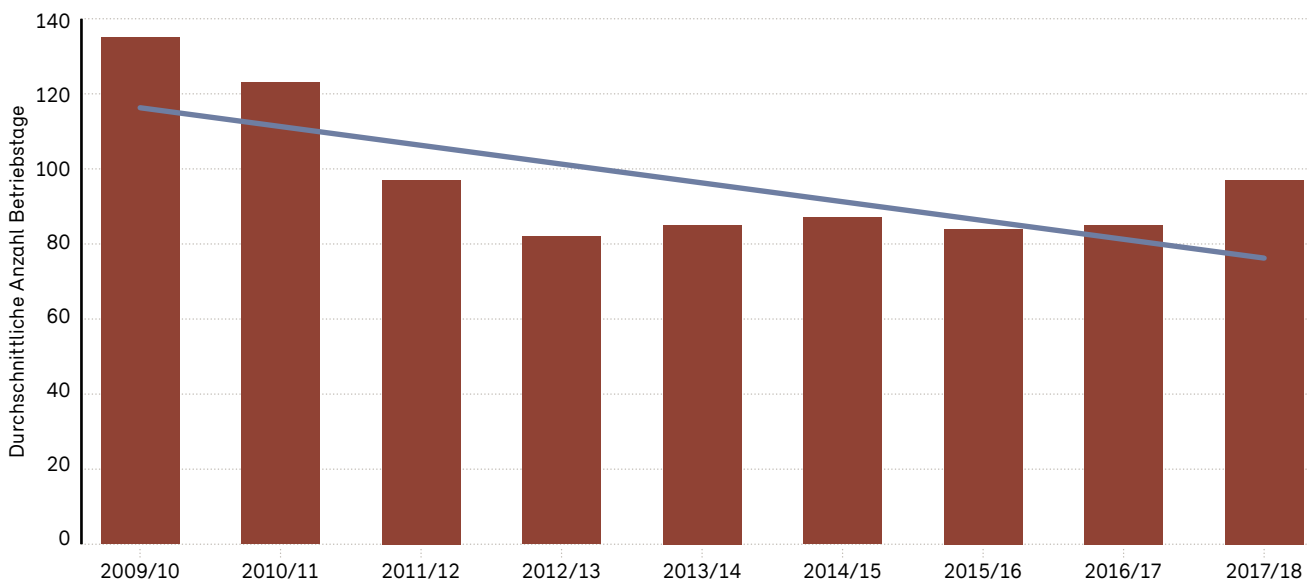
In Zukunft dürfte die Verfügbarkeit von Schnee und damit die Anzahl Betriebstage pro Saison zumindest in den tie-

fen bis mittleren Lagen weiter abnehmen (Uhlmann et al. 2009, vgl. Kap. 3.4). Bis 2060 und ohne Klimaschutzmassnahmen dürfte die natürliche Schneedecke auf einer Höhe von 1500 bis 2000 m ü. M. um rund 40 % und zwischen 1000 bis 1500 m ü. M. sogar um 55 % schrumpfen (NCCS 2018). Da zahlreiche Schweizer Skigebiete höher liegen, sind diese im Vergleich mit Skigebieten in anderen Alpenländern wahrscheinlich weniger hart vom Klimawandel betroffen. Abbildung 67 zeigt, dass die meisten Walliser und Bündner Skigebiete bei einer globalen Erwärmung um +4 °C gegenüber heute schneesicher bleiben dürften. Problematischer ist die Situation für Skigebiete in tieferen Lagen. Dort bleibt die Schneesicherheit selbst bei einer sehr ambitionierten Klimapolitik³⁷ nur zum Teil erhalten.

³⁷ entsprechend dem Emissionsszenario RCP2.6 resp. maximal +2 °C globaler Erwärmung gegenüber vorindustrieller Zeit, vgl. Kap.4.2

Abb. 66: Durchschnittliche Anzahl Betriebstage von Schweizer Skigebieten

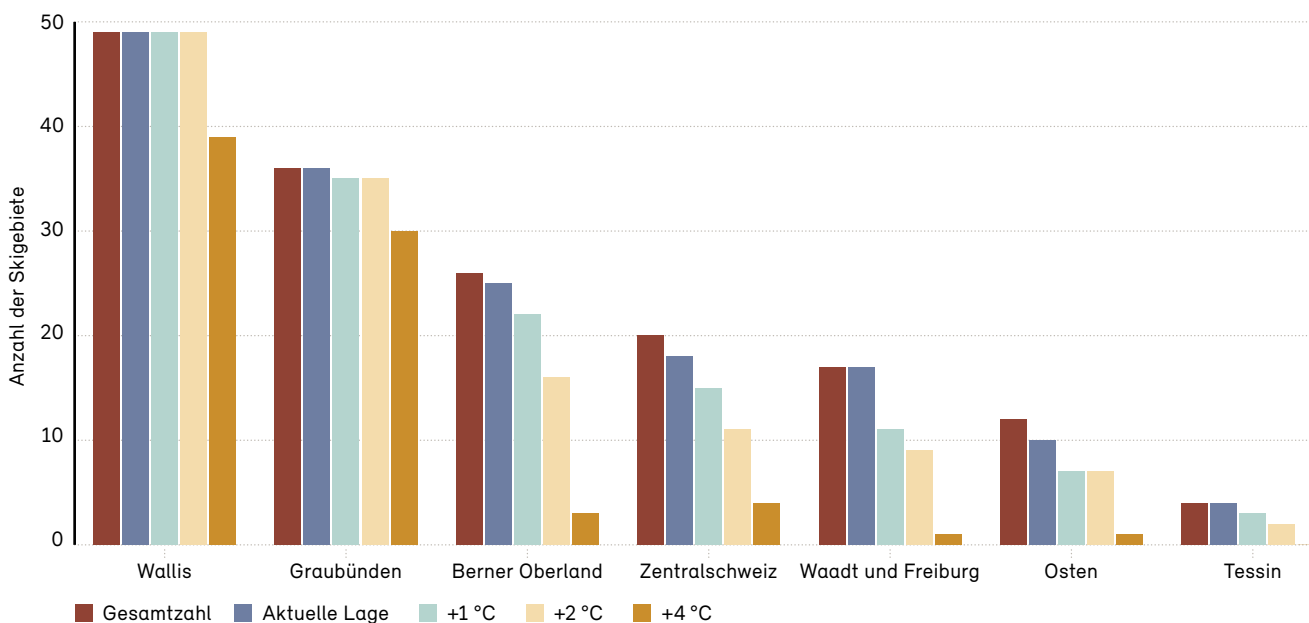
Entwicklung der durchschnittlichen Anzahl Betriebstage im Zeitraum 2009/10 bis 2017/18. Die Stichprobe umfasst 63 Skigebiete.



Quelle: SBS (2018a)

Abb. 67: Entwicklung der Verfügbarkeit von Schnee in Schweizer Skigebieten

Gesamtzahl der Skigebiete der Schweiz sowie Anzahl der schneesicheren Skigebiete in Abhängigkeit von der Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber heute.



Quelle: Abegg et al. (2007)

6.5 Auswirkungen in weiteren Sektoren

Der Klimawandel betrifft nicht nur die Sektoren Gesundheit, Energie, Tourismus und Wasserwirtschaft. Weitere, vom Klimawandel betroffene Bereiche unserer Gesellschaft werden im Folgenden kurz diskutiert.

Extreme Naturereignisse: Die Schweiz ist zahlreichen Naturgefahren wie Hochwasser, Murgängen, Erdbeben, Felsstürzen, Lawinen und Stürmen ausgesetzt. Als Alpenland ist sie besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Der Anstieg der Nullgradgrenze (vgl. Kap. 3.4) sowie die Abnahme der Schneemenge wirken sich auf die Gletscher und den Permafrost (vgl. Kap. 5.2) und damit auf die Hangstabilität und das Auftreten von Massenbewegungen aus (NCCS 2018). Für Infrastrukturen im Hochgebirge ergeben sich zudem Probleme durch Sackungen oberhalb von Eislinsen oder durch die Mobilisierung des Untergrunds. Durch die Zunahme der Intensität und der Häufigkeit von Extremniederschlagsereignissen wird sich die Hochwassersituation weiter verschärfen (NCCS 2018). Personen-, Güter- und Umweltschäden, deren Kosten oft Millionenhöhe erreichen, werden ohne geeignete Schutzkonzepte weiter zunehmen.

Raumentwicklung: Die Temperaturzunahme des Klimawandels, insbesondere Hitzewellen betreffen besonders Städte und Agglomerationen. Durch die angestrebte qualitative Verdichtung im Siedlungsgebiet (Siedlungsentwicklung nach innen) sind für das Lokalklima bedeutsame Freiräume unter Druck. Zusätzlich nimmt die Versiegelung zu und die Bebauung wird kompakter, was den Hitzeinseleffekt weiter steigert. Nebst Hitze sind auch Starkniederschläge eine Herausforderung für städtische und urbane Räume. Mit dem Klimawandel wird erwartet, dass die Häufigkeit und Intensität von Extremniederschlägen zunehmen wird (4.3.3). Durch die Versiegelung des Bodens ist die Versickerung von Niederschlägen im Siedlungsgebiet nur sehr eingeschränkt möglich, was den Oberflächenabfluss verstärkt.

Landwirtschaft: Milde Winter und der Anstieg der Mitteltemperatur begünstigen das Überleben und die Ausbreitung vieler Schadorganismen, was wiederum zu erhöhten Ernteeinbußen führen kann (Köllner et al. 2017). Auch Trockenheit und Starkregen (vgl. Kap. 3.3 und 4.3) kann die

Produktion beeinträchtigen. Jedoch sind nicht alle Auswirkungen auf die Landwirtschaft nur negativ. Der Anstieg der Mitteltemperatur, die Abnahme der Frosttage und die Verlängerung der Vegetationsperiode dürften sich positiv auf die Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturen auswirken (Köllner et al. 2017).

6.6 Wirtschaftliche Kosten

Abschätzungen zu den Kosten des Klimawandels sind aufgrund der vielen Einflussfaktoren und der langen Zeithorizonte generell schwierig und mit grossen Unsicherheiten verbunden. Dies gilt ganz besonders, wenn es um kleinräumige Schätzungen geht. Ein verbreitetes Konzept, um die wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels auszudrücken, sind die sogenannten Kosten des Nicht-Handelns («costs of inaction»). Bereits im Jahr 2006 zeigte der Ökonom Nicholas Stern, dass ein ungebremster Klimawandel über die nächsten beiden Jahrhunderte mit einer Reduktion des jährlichen globalen BIP um durchschnittlich 5 bis 20 %-Punkte verbunden wäre. Die Kosten einer Stabilisierung der Emissionen auf einem mit einer maximalen Erwärmung von 2 °C verbundenen Niveau liegen hingegen bei lediglich rund 2 % des globalen BIP pro Jahr (Stern 2006).

Auch die OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) bestätigt in einem Bericht zu den ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels, dass die Kosten des Nicht-Handelns jene des Handelns um ein Vielfaches übersteigen. Sie geht im Falle eines ungebremsten Klimawandels von globalen BIP-Verlusten von bis zu 10 % bis 2100 aus (OECD 2015).

Bereits heute sind die Kosten des Klimawandels beträchtlich. In der EU fielen im Jahr 2010 klimabedingte Schäden an kritischen Infrastrukturen sowie in direkt betroffenen Sektoren von über 3 Milliarden Euro an. Diese Schäden dürften bis 2050 auf das Sechsfache und bis 2100 auf das Zehnfache steigen, wenn der Klimawandel nicht wirksam eingedämmt wird (Europäische Union 2016).

Für die Schweiz liegen erst wenige quantifizierte Angaben zu den Kosten des Klimawandels vor. Die ETH Lausanne untersuchte die Auswirkungen des Klimawandels

auf sechs ausgewählte Bereiche (Gesundheit, Gebäude und Infrastrukturen, Energie, Wasserversorgung, Landwirtschaft, Tourismus) und errechnete die Kosten, die sich bei einem mehr oder weniger ungebremsen Klimawandel im Vergleich zu einer Begrenzung auf +2 °C ergeben. Gemäss dieser Untersuchung betragen diese Mehrkosten 2060 gesamthaft rund 2.8 Milliarden CHF. Sie ergeben sich beispielsweise aufgrund eines klimabedingten Rückgangs der Arbeitsproduktivität oder durch Einbussen im Wintertourismus (ETHL 2017). In einer weiteren Studie wurden die Wohlfahrtsverluste aufgrund des Klimawandels in der Schweiz auf 0,37 % bis 1,37 % geschätzt (Vöhringer et al. 2019). Längerfristig, d. h. bis Ende des Jahrhunderts, könnten die BIP-Einbussen in der Schweiz auf bis zu 12 % ansteigen, wenn sich die aktuelle globale Emissionsentwicklung ungebrems weiter fortsetzt (Kahn et al. 2019).

Die Kosten des Handelns sind demgegenüber deutlich geringer. Die Umsetzung des Massnahmenpakets gemäss Totalrevision des CO₂-Gesetzes dürfte sich nur sehr moderat auf das Wachstum der Wirtschaft auswirken. Würde man zusätzlich auch positive Effekte der Massnahmen einbeziehen (beispielsweise Innovationsanreize oder reduzierte Gesundheitskosten), so dürfte der volkswirtschaftliche Nutzen die direkten Kosten des Massnahmenpakets übersteigen (BAFU 2017b).

6.7 Indirekte Auswirkungen

Der Bund fokussiert in seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sowie in seinen Analysen der Risiken und Chancen des Klimawandels bisher auf die direkten, unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012 und 2014, Köllner et al. 2017, INFRAS & Egli Engineering 2015). Die international stark vernetzte Schweiz ist aber in erheblichem Masse auch von indirekten, über das Ausland wirkende Änderungen des Klimas und deren Folgen betroffen (Abbildung 68, Kohli et al. 2018, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016b). Die Folgen klimabedingter Ereignisse im Ausland können sich über unterschiedliche Einflussbereiche und lange Wirkungsketten hinweg fortpflanzen (Abbildung 68).

Im Folgenden werden die für die Schweiz zentralen Einflussbereiche aufgezeigt.

Wirtschaftsleistung: Die Exposition gegenüber Klimawandelrisiken unterscheidet sich je nach Unternehmen, Zulieferketten und Substituierbarkeit importierter Güter. Risiken bestehen v. a. bei Unternehmen mit hohem Exportanteil in vulnerable (verletzbar) Länder oder starker Abhängigkeit von Gütern aus klimasensitiven Regionen. Dagegen ergeben sich Chancen für Exporteure von Produkten und Knowhow zur Anpassung an den Klimawandel (Infras 2018).

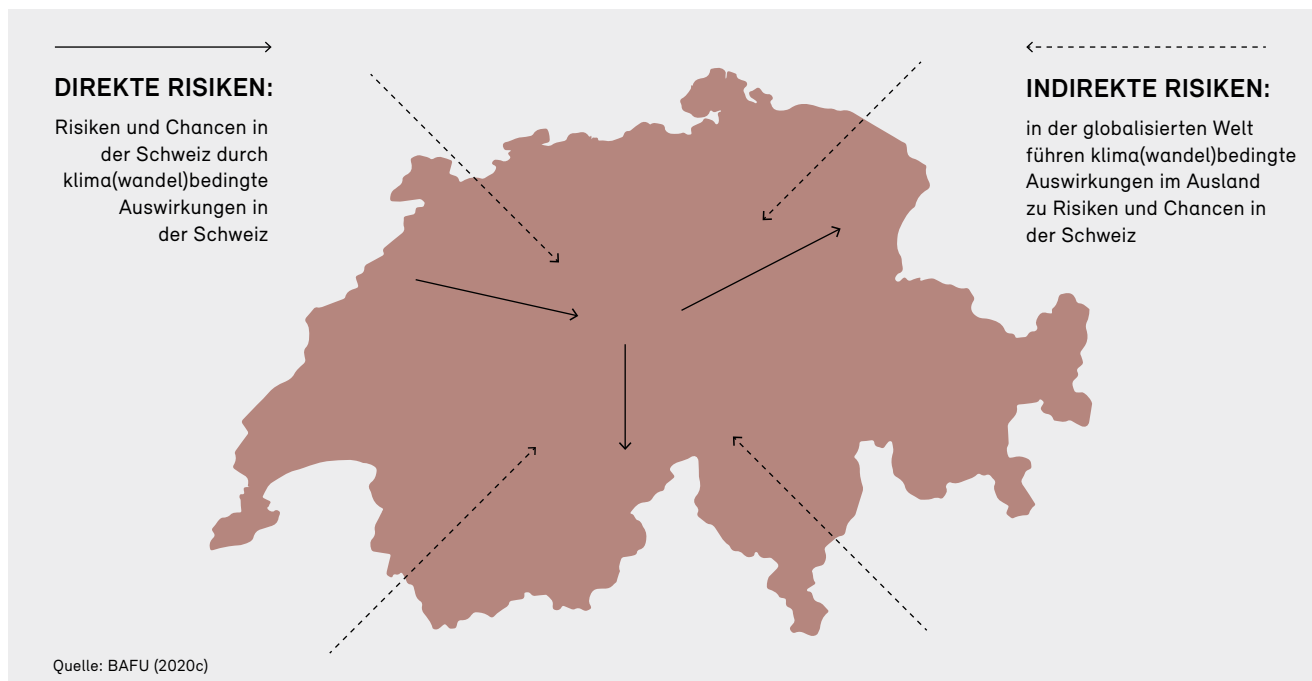
Nahrungsmittelversorgung: Unter Berücksichtigung der importierten Futtermittel bewegte sich der Selbstversorgungsgrad der Schweiz in den letzten Jahren (1995 – 2014) zwischen 50 % und 59 % (BLW 2016). Unter den 14 Ländern, aus denen die Schweiz am meisten Landwirtschaftsgüter importiert, befinden sich eher vulnerable Länder wie Ghana oder Indien. Insbesondere wichtige Vorleistungsprodukte von Nahrungsmitteln wie Kakao- oder Kaffeebohnen stammen aus anfälligen Gebieten gegenüber dem Klimawandel (z. B. El Salvador, Nicaragua, Elfenbeinküste). Konzentrationen auf dem Markt, wie z. B. bei Soja aus Brasilien, erhöhen zudem die klimabedingten Risiken.

Energieversorgung: Die Schweiz verfügt selbst nur über geringe Energievorkommen und ist damit zur Deckung des Energiebedarfs zu rund 75 % auf Importe angewiesen. Importiert werden Energieträger wie Erdöl, Erdgas, Kohle und Kohleprodukte, nukleare Brennelemente und im Winterhalbjahr Elektrizität. Diese stammen zum Teil aus vulnerablen Ländern gegenüber dem Klimawandel (z. B. Erdöl). D.h. der Klimawandel kann im Ausland relevante Auswirkungen auf Abbauanlagen, Raffinerien und Transportrouten für fossile Energien haben, aber auch auf Stromnetze und auf die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien.

Finanzdienstleistungen: Der Finanzplatz Schweiz ist als Standort für die grenzüberschreitende Verwaltung privater Vermögenswerte weltweit führend. Die Schweiz beherbergt zudem einen der zehn grössten Versicherungsmärkte Europas. Die Folgen des Klimawandels könnten zu einer Schädigung vermögender Bankkunden (aus dem Ausland)

Abb. 68: Direkte und indirekte Risiken

Die Schweiz ist nicht nur von direkten Risiken des Klimawandels betroffen, sondern auch von indirekten Risiken.



führen, denn die klimabedingten Risiken im Vermögensverwaltungsgeschäft werden bisher v. a. von den Kunden getragen. Es kann aber auch zu einer Gefährdung schweizerischer Investitionen im Ausland führen, denn im Ausland hat der Klimawandel eine hohe Relevanz, v. a. bei langfristigen Investitionen wie Infrastrukturen und im Versicherungssektor. Schweizer Versicherungsunternehmen müssen mit Verlusten rechnen, da sie in Ländern tätig und exponiert sind, welche häufig von Extremereignissen betroffen sind.

Sicherheit: Der Klimawandel als Multiplikator kann Risiken für die menschliche Sicherheit erhöhen und gewalttätige Konflikte im Ausland begünstigen. Betroffen sind auch vulnerable Länder mit fragilen Strukturen, in denen sich die Schweiz z. B. aufgrund wirtschaftlicher Tätigkeiten, politischer Interessen oder in der Entwicklungszusammenarbeit engagiert. Ein Beispiel dafür ist die Region um das Horn von Afrika (Äthiopien, Eritrea, Somalia). Der aktuelle sicherheitspolitische Bericht der Schweiz hält fest, dass die Fragilität von Staaten in den letzten Jahren infolge des Klimawandels zugenommen hat.

Migration: Der Klimawandel ist einer von vielen Faktoren, die die Migration beeinflussen. Er verstärkt soziale, ökonomische oder politische Probleme und kann nur in Kombination mit anderen Faktoren dazu beitragen, dass sich Menschen zur Migration entscheiden. Die Schweiz ist kein primäres Zielland für «klimabeeinflusste» Migration, da sie in der Regel über kürzere Distanzen stattfindet (z. B. Land – Stadt, Nachbarländer) und oft temporärer Natur ist. Für aus vulnerablen Ländern Geflohene und mit wirtschaftlicher Perspektivlosigkeit Konfrontierte stellt die Schweiz aber ein mögliches Zielland dar. Aufgrund wirtschaftlicher Ungleichgewichte und politischer Konflikte wird sich der bestehende Migrationsdruck auch in Richtung Europa verstärken.

Entwicklungszusammenarbeit: Der Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel sind zwei Prioritäten in der Entwicklungszusammenarbeit der Schweiz. Die Schwerpunktländer der Entwicklungszusammenarbeit sind primär sensitive Länder. Der Klimawandel beeinträchtigt die Lebensgrundlagen der Zielgruppen der Entwicklungszusammenarbeit vielerorts stark und kann bereits erzielte Entwicklungsfortschritte gefährden.

7 Emissionsverminderung

Die Klimarahmenkonvention der UNO, das Kyoto-Protokoll und das Übereinkommen von Paris sind die politischen Reaktionen der internationalen Gemeinschaft auf den fortschreitenden Klimawandel (Kap. 7.1). Ihr Ziel besteht im Wesentlichen darin, die weltweiten Treibhausgasemissionen zu vermindern, und die Kapazitäten zur Anpassung an den Klimawandel zu erhöhen. Mit der Ratifizierung dieses Übereinkommen hat sich die Schweiz international verpflichtet, ihre Emissionen zu senken (Kap. 7.2). Das CO₂-Gesetz ist die wichtigste Grundlage für die Erreichung der Reduktionsziele der Schweiz. Es überführt die international eingereichten Ziele in nationales Recht und legt verschiedene Massnahmen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen fest (Kap. 7.3). Darüber hinaus tragen weitere Bereiche und Gesetzgebungen zur Emissionsverminderung bei (Kap. 7.4).

schiedet. Dieses Übereinkommen will die durchschnittliche globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C begrenzen, wobei eine Erwärmung von nicht mehr als 1,5 °C angestrebt werden soll. Im Gegensatz zum Kyoto-Protokoll unterscheidet das Übereinkommen von Paris nicht mehr zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Damit sind die ratifizierenden Entwicklungsländer erstmals formell verpflichtet, ebenfalls zur Emissionsreduktion beizutragen. Alle Mitgliedstaaten sollen nationale Reduktionsziele festlegen, diese periodisch verschärfen und über das Ergebnis ihrer Bemühungen regelmässig (alle zwei Jahre) Bericht erstatten. Alle fünf Jahre soll international Bilanz gezogen werden über die erzielten Fortschritte im Hinblick auf die Erreichung der Ziele des Übereinkommens.

7.1 Internationale Reduktionsziele

Die Veröffentlichung des ersten Berichts des Weltklimarats (IPCC) im Jahr 1990 weckte das Bewusstsein, dass angesichts des Klimawandels dringender Handlungsbedarf besteht. Zwei Jahre später wurde die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) angenommen. Mit dem Kyoto-Protokoll und dem Übereinkommen von Paris hat die internationale Klimapolitik Grundlagen geschaffen für verbindliche nationale Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen. Abbildung 69 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Schweizer und der internationalen Klimapolitik.

Das Kyoto-Protokoll wurde 1997 im Rahmen der UNFCCC verabschiedet. Die ratifizierenden Staaten verpflichteten sich, ihre Treibhausgasemissionen gemäss festgelegten Reduktionszielen zu vermindern. Um diese Reduktionsziele zu erreichen, durften die Senkenleistung der Wälder und in beschränktem Umfang der Kauf ausländischer Emissionsminderungszertifikate berücksichtigt werden. Einige Länder einigten sich auf eine zweite Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll.

Am 12. Dezember 2015 wurde das Übereinkommen von Paris von den 196 Mitgliedstaaten der UNFCCC verab-

Abb. 69: Überblick über die Schweizer und die internationale Klimapolitik

Die Welt		Die Schweiz	
Publikation des 1. IPCC-Berichts über den Klimawandel	1990		
Verabschiedung der Klimarahmenkonvention (UNFCCC)	1992		
Verabschiedung des Kyoto-Protokolls	1997		
Für die Industrieländer werden verbindliche Zielsetzungen zur Emissionsreduktion festgelegt. Die Industrieländer verpflichten sich, ihre Treibhausgasemissionen um durchschnittlich 5,2 % gegenüber 1990 zu senken.	2003	Ratifizierung des Kyoto-Protokolls	
	2008	Einführung der CO ₂ -Abgabe	
Erste Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls	2008 – 2012	Analog zur EU verpflichtet sich auch die Schweiz, ihre Treibhausgasemissionen zwischen 2008 und 2012 um 8 % gegenüber 1990 zu reduzieren.	
	2013	Inkrafttreten des revidierten CO ₂ -Gesetzes	
Zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls	2013 – 2020	Die Schweiz verpflichtet sich zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen um 20 % bis 2020 gegenüber 1990.	
Nur wenige Länder sind bereit, sich für eine zweite Periode zu verpflichten, nämlich Australien, die Europäische Union, Kroatien, Island, Liechtenstein, Monaco, Norwegen und die Schweiz.			
Verabschiedung des Übereinkommens von Paris	2015		
Eines der Hauptziele lautet, die durchschnittliche globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Alle Länder, die das Übereinkommen ratifiziert haben, sind verpflichtet, ein nationales Reduktionsziel festzulegen und über ihre Umsetzungsaktivitäten zu berichten.	2017	Ratifizierung des Übereinkommens von Paris	
	2019	Der Bundesrat beschliesst eine Zielsetzung von Netto-Null-Emissionen für alle Treibhausgase bis 2050	
Umsetzung des Übereinkommens von Paris	2021 – 2030	Die Schweiz verpflichtet sich, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu reduzieren	
	2050	Netto-Null-Emissionen	

Quelle: angepasst aus BAFU (2018b)

7.2 Nationale Reduktionsziele

Die Schweiz hat das Kyoto-Protokoll 2003 ratifiziert. Für die erste Verpflichtungsperiode (2008 – 2012) hat sie sich analog zur EU verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen um durchschnittlich 8 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Dieses Ziel wurde dank Reduktionsmassnahmen im Inland, der Anrechnung von ausländischen Emissionsminderungszertifikaten sowie der Berücksichtigung der Waldsenkenleistung erreicht.

In der Schweiz erfolgt die Umsetzung der internationalen Verpflichtungen im Rahmen des CO₂-Gesetzes. Für den Zeitraum von 2008 bis 2012 wurden im ersten CO₂-Gesetz, das im Jahr 2000 in Kraft trat, ein Reduktionsziel für die CO₂-Emissionen von durchschnittlich –10 % gegenüber 1990 sowie Teilziele für CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen (–15 %) und fossilen Treibstoffen (–8 %) festgelegt. Unter Berücksichtigung der im Ausland erworbenen Emissionsminderungszertifikate konnte das Gesamtziel von minus 10 % erreicht werden. Die Teilziele für Treibstoffe und Brennstoffe wurden allerdings verfehlt.

Für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurde das CO₂-Gesetz revidiert, um den Zeitraum von 2013 bis 2020 abzudecken. In dem revidierten Gesetz wurde die Zielsetzung von minus 20 % (Summe aller Treibhausgasemissionen, nicht mehr nur CO₂) bis 2020 gegenüber 1990 aufgenommen.³⁸ Das Gesetz sieht vor, dass diese Zielsetzung vollständig mit Reduktionsmassnahmen im Inland erreicht werden muss. Die Daten des nationalen Treibhausgasinventars von 2020 (das die Emissionsdaten bis 2018 abdeckt) deuten darauf hin, dass diese Zielsetzung wahrscheinlich verfehlt wird (Abbildung 70).

Der erläuternde Bericht zur Verordnung zum CO₂-Gesetz enthält zudem für verschiedene Sektoren erwartete Zielbeiträge für das Jahr 2020 (in % gegenüber 1990):

- –40 % für den Gebäudesektor (Haushalte und Dienstleistungen) (d. h. noch maximal 10,3 Mio. t CO₂eq);

- –15 % für den Industriesektor (d. h. noch maximal 11,1 Mio. t CO₂eq);
- –10 % für den Verkehrssektor (d. h. noch maximal 13,4 Mio. t CO₂eq);
- –10 % für übrige Emissionsquellen (Landwirtschaft, Abfall und synthetische Gase) (d. h. noch maximal 7,9 Mio. t CO₂eq).

Die neusten Emissionsdaten weisen darauf hin, dass der Sektor Gebäude seinen Zielbeitrag wahrscheinlich verfehlen wird. Ob der Sektor Industrie sein Zielbeitrag erreichen wird, ist noch ungewiss. Beim Verkehr und den übrigen Emissionsquellen werden die Zielbeiträge mit Sicherheit verfehlt (Abbildung 71).

Die Schweiz hat das Übereinkommen von Paris am 6. Oktober 2017 ratifiziert und sich verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber dem Stand von 1990 zu halbieren. Auf nationaler Ebene erforderte die Umsetzung dieser Verpflichtung die erneute Revision des CO₂-Gesetzes für den Zeitraum 2021 – 2030. Mindestens drei Viertel der notwendigen Emissionsreduktion soll im Inland erzielt werden. Dies entspricht einer Zielsetzung für die inländischen Emissionen von –37,5 % bis 2030 gegenüber 1990.

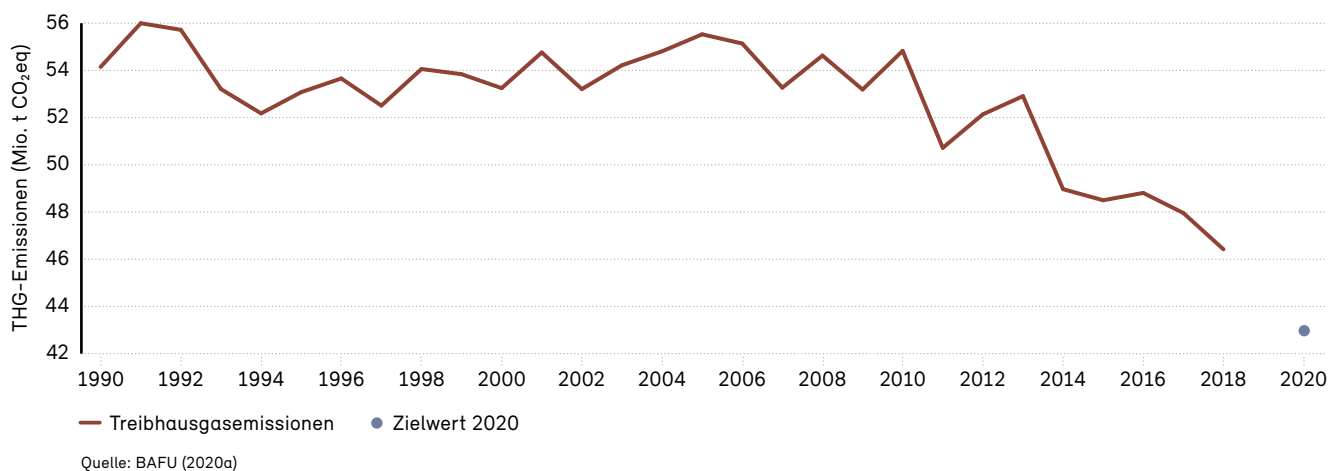
Am 28. August 2019 hat der Bundesrat beschlossen, dass die Schweiz bis zum Jahr 2050 ihre Treibhausgasemissionen auf Netto-Null reduzieren soll. Spätestens 2050 soll sie nicht mehr Treibhausgase ausstossen, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können (Gleichgewicht zwischen Quellen und Senken). Der Bundesrat hat offengelassen, zu welchen Anteilen die Reduktion im In- bzw. im Ausland erfolgen soll.³⁹

³⁸ Das Treibhausgasinventar wird jedes Jahr Neuberechnet, was zu Veränderungen der Emissionswerte der Vorjahre führt (auch des Wertes 1990). Die Reduktionsziele werden jedoch gegenüber einem festgelegten Referenzwert (53,71 Mio. t CO₂eq) ausgewiesen, welcher im Second Initial Report definitiv festgelegt wurde (vgl. BAFU 2020b).

³⁹ Weitere Informationen zum Klimaziel 2050 sowie weiterführende Aspekte finden sich auf folgender Seite: www.bafu.admin.ch/klima2050

Abb. 70: Treibhausgasemissionen seit 1990 und Ziel des CO₂-Gesetzes für 2020

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen, Schweiz, 1990 bis 2018. Die geringe anrechenbare Senkenleistung der Waldbewirtschaftung und im Ausland erworbene Emissionsminderungszertifikate sind hier nicht berücksichtigt. Der blaue Punkt entspricht dem im CO₂-Gesetz festgelegten Zielwert. Ziel 2020 umfasst den Abzug der anrechenbaren Senkenleistung.

**Abb. 71: Treibhausgasemissionen nach Sektoren und sektorielle Zielbeiträge**

Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen nach Sektoren, Schweiz, 1990 bis 2018, und erwartete Zielbeiträge der einzelnen Sektoren.

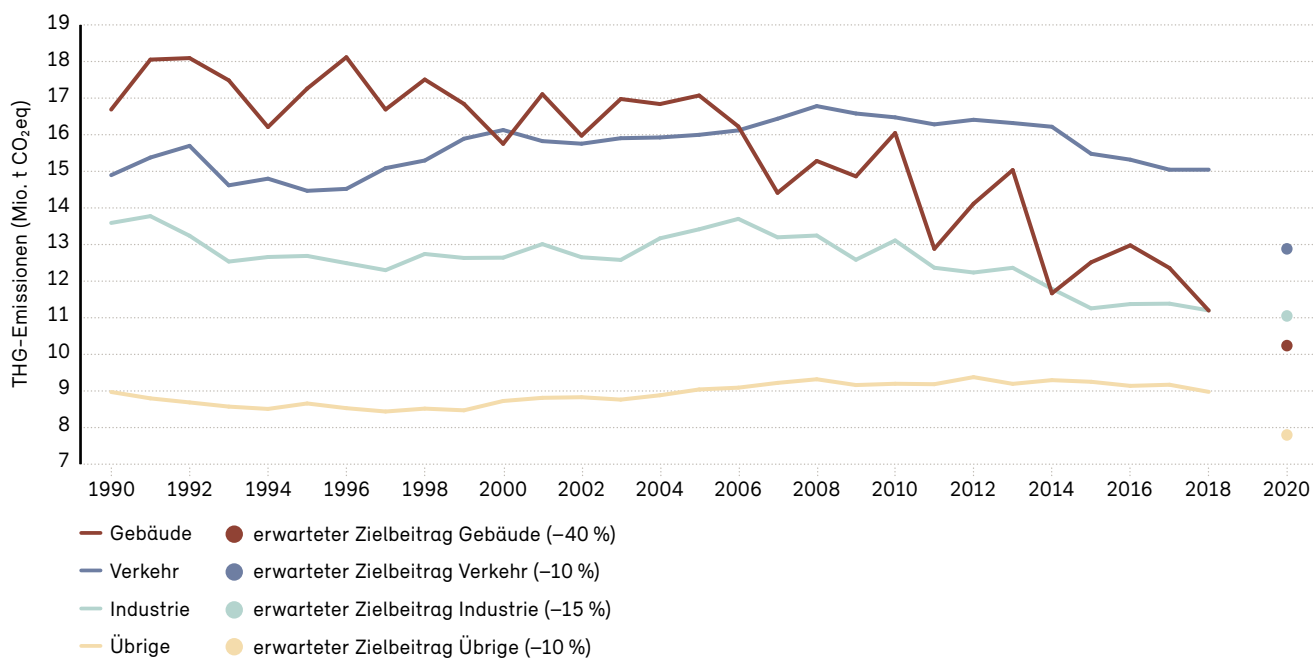
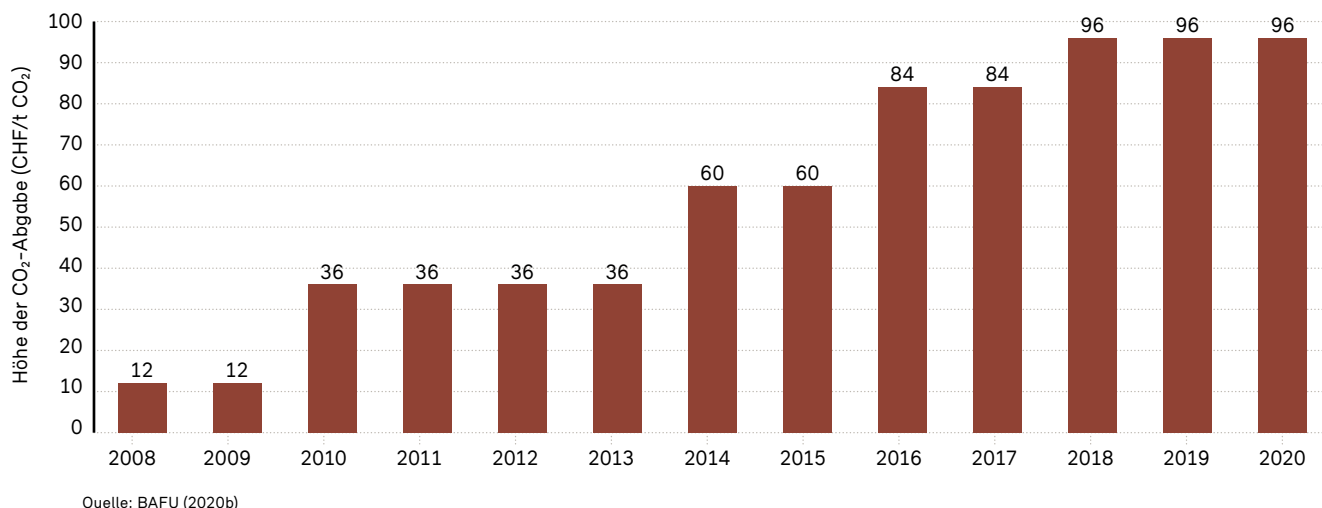


Abb. 72: Entwicklung der Höhe der CO₂-Abgabe

Schrittweise Erhöhung der CO₂-Abgabe aufgrund der Nichterreichung der Zwischenreduktionsziele.



7.3 Massnahmen zur Emissionsverminderung gemäss CO₂-Gesetz

Zur Erreichung der Emissionsverminderungsziele sieht das aktuelle CO₂-Gesetz⁴⁰ verschiedene Massnahmen vor.

7.3.1 CO₂-Abgabe

Die CO₂-Abgabe ist eine Lenkungsabgabe, die seit 2008 auf fossilen Brennstoffen (Heizöl, Erdgas usw.) erhoben wird, wenn diese zur Warmgewinnung, zur Erzeugung von Strom oder auch für den Betrieb von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen verwendet werden. Treibstoffe sind nicht von dieser Abgabe betroffen. Das CO₂-Gesetz sieht eine Erhöhung der Abgabe vor, falls vordefinierte Reduktionsziele nicht erreicht werden (Abbildung 72). Dies war bislang viermal der Fall. Nachdem sie ursprünglich mit 12 CHF/t CO₂ eingeführt wurde, beträgt die Abgabe seit 2018 96 CHF/t CO₂.

Jedes Jahr werden rund zwei Drittel der Einnahmen aus der CO₂-Abgabe anteilmässig an die Bevölkerung und die Unternehmen rückverteilt, während der Rest (ein Drittel bzw. maximal 450 Mio. CHF) in das Gebäudeprogramm fließt (vgl. Kap. 7.3.3). Weitere 25 Mio. CHF kommen dem Technologiefonds zugute. Treibhausgasintensive Unter-

nehmen können sich von der CO₂-Abgabe befreien lassen, wenn sie sich im Gegenzug zu einer Verminderung ihrer Emissionen verpflichten.

7.3.2 Emissionshandelssystem

Die treibhausgasintensivsten Unternehmen nehmen am schweizerischen Emissionshandelssystem (EHS) teil und sind von der CO₂-Abgabe befreit. Im EHS wird eine absolute Menge an verfügbaren Emissionsrechten («cap») bestimmt und die beteiligten Unternehmen erhalten kostenlos einen bestimmten Anteil davon zugeteilt. Unternehmen, die mehr CO₂ ausstossen als ihre Emissionsrechte erlauben, müssen zusätzliche Rechte bei anderen Unternehmen kaufen, die am EHS teilnehmen. Das «cap» sinkt jährlich, womit auch die gesamthaft zulässigen Emissionen von Jahr zu Jahr abnehmen.

Per 1. Januar 2020 wurde die Verknüpfung der Emissionshandelssysteme der Schweiz und der EU vollzogen. Durch diese Verknüpfung erhalten die Schweizer Unternehmen Zugang zu einem grösseren und liquideren Markt mit Emissionsrechten. Ausserdem wurde der Schweizer Luftverkehr in das EHS integriert und so neu ebenfalls einer klimapolitischen Regulierung unterstellt.

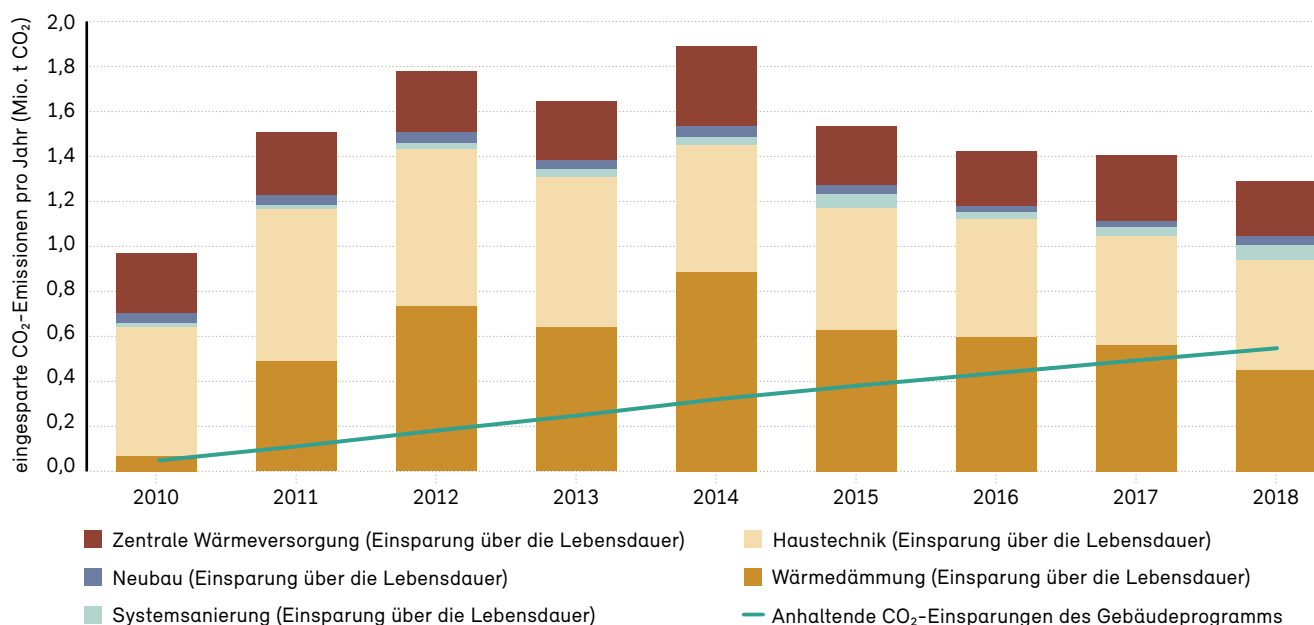
7.3.3 Gebäudeprogramm

In der Schweiz fallen 30 % der inländischen CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs im Gebäudebereich

⁴⁰ Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO₂-Emissionen, Inkrafttreten am 1. Januar 2013

Abb. 73: CO₂-Einsparungen des Gebäudeprogramms

CO₂-Einsparungen über die Lebensdauer der Massnahmen nach Finanzierungsbereich und anhaltende⁴¹ CO₂-Einsparungen des gesamten Gebäudeprogramms pro Jahr (etwa –500 t CO₂/Jahr).



Quelle: Das Gebäudeprogramm (2018)

an (BAFU 2020a). Etwa zwei Drittel der Gebäude werden fossil beheizt (BFS 2019), und mehr als eine Million Häuser sind energetisch sanierungsbedürftig (Das Gebäudeprogramm 2018). Bund und Kantone wollen dieses Potenzial stärker ausschöpfen und setzen im Rahmen der CO₂- und Energiegesetzgebung verschiedene Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs von Gebäuden um.

Bereits seit dem Jahr 2000 richtet der Bund den Kantonen jährlich Globalbeiträge für Förderprogramme zur sparsamen und rationellen Energienutzung sowie zur Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme aus. 2010 ist in Ergänzung dazu das nationale Gebäudeprogramm lanciert worden. 2017 wurden diese beiden Instrumente zusammengelegt. Das Gebäudeprogramm wird gemeinsam von Bund und Kantonen getragen.

Die Kantone sind für die Umsetzung des Programms zuständig. Gefördert werden bauliche Massnahmen wie

die Wärmedämmung der Gebäudehülle, der Ersatz fossiler oder direktelektrischer Heizungen durch den Anschluss an ein Wärmenetz oder Heizsysteme mit erneuerbaren Energien sowie umfassende energetische Sanierungen und Neubauten im Minergie-P Standard. Seit 2018 können auch indirekte Massnahmen wie Fachveranstaltungen, Aus- und Weiterbildung, Analysen und Beratung, Qualitätssicherung, Zertifikate (z.B. GEAK, Minergie, 2000 Watt-Areale, SNBS) etc. im Rahmen des Gebäudeprogramms gefördert werden.

2018 verbrauchte der Schweizer Gebäudepark gemäss Wirkungsanalyse des Gebäudeprogramms 2,1 Mia. Kilowattstunden (kWh) weniger Energie und stiess 0,55 Mio. t weniger CO₂ aus als 2010 (Abbildung 73). Die Energie- und die CO₂-Wirkung der geförderten Massnahmen summiert sich über deren gesamte Lebensdauer auf fast 55 Mia. kWh und mehr als 13 Mio. t CO₂.

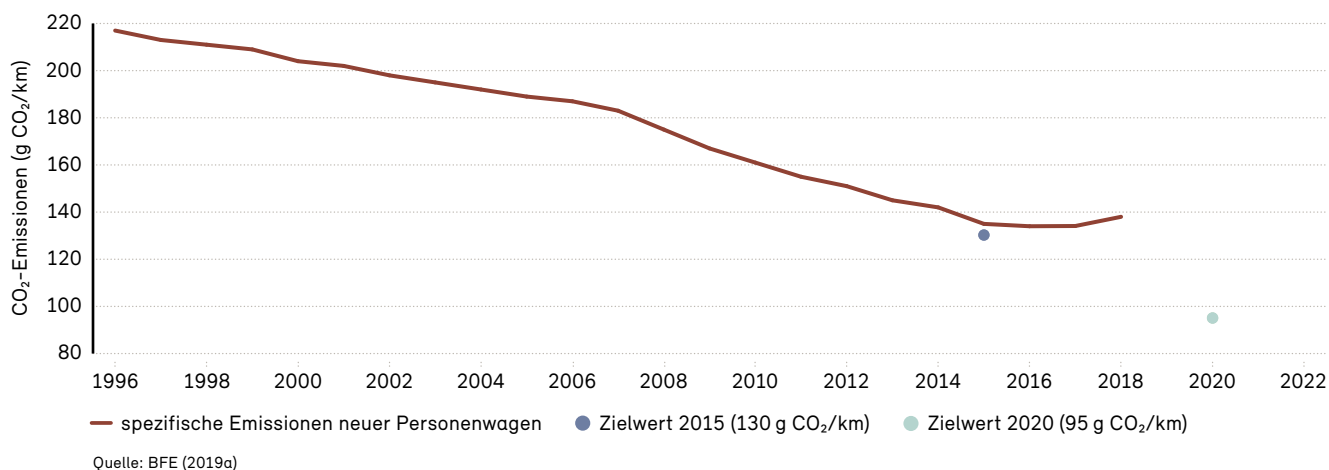
7.3.4 CO₂-Emissionsvorschriften für Fahrzeuge

Die Schweiz hat 2012 analog zur EU CO₂-Vorschriften für neue Personenwagen eingeführt. Die Zielwerte für neue Fahrzeuge werden periodisch verschärft.

⁴¹ Die Wirkung des Programms hält an, bis die geförderten Bauteile und Anlagen das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben (Das Gebäudeprogramm 2018).

Abb. 74: Entwicklung der durchschnittlichen Emissionen von neu in Verkehr gesetzten Personenwagen

Entwicklung der Durchschnittswerte der Emissionen von in der Schweiz immatrikulierten neuen Personenwagen im Zeitraum 1996 bis 2018.



Für Personenwagen wurde ein Zielwert für den Durchschnitt der Neuwagenflotte von 130 g CO₂/km für 2015 und 95 g CO₂/km für 2020 festgelegt (Abbildung 74). Für neu in Verkehr gesetzte Lieferwagen und leichte Sattelschlepper gilt ein Zielwert von 147 g CO₂/km im Jahr 2020. Importeure, die ihre Zielvorgabe verfehlen, müssen pro Gramm CO₂ über dem Zielwert eine Sanktion bezahlen. Das Ziel für 2015 wurde nicht erreicht und die durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro Kilometer sind zwischen 2016 und 2018 sogar wieder leicht angestiegen.

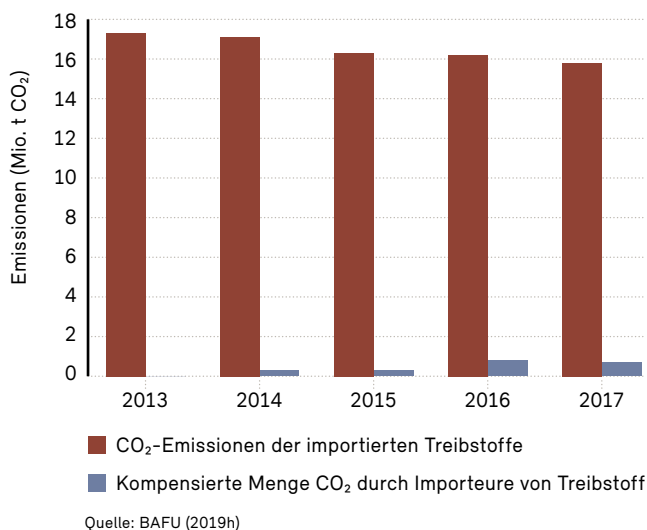
7.3.5 Kompensation von CO₂-Emissionen

Gemäss CO₂-Gesetz sind die Importeure von Treibstoffen und die Betreiber von fossil-thermischen Kraftwerken dazu verpflichtet, einen Teil ihrer Emissionen im Inland zu kompensieren. Das BAFU stellt Bescheinigungen für Projekte zur Emissionsreduktion in der Schweiz aus, die für die inländische Kompensation angerechnet werden können. 2017 wurden 795 380 t CO₂ über solche Reduktionsprojekte kompensiert (Abbildung 75).

Damit Emissionsverminderungen aus einem Projekt im Inland bescheinigt werden können, müssen sie verschiedene Anforderungen erfüllen. Eine Bescheinigung wird nur erteilt, wenn das Projekt oder Programm nicht wirtschaftlich ist und ohne den Erlös aus dem Verkauf der Bescheinigungen nicht durchgeführt würde. Zudem muss die Reduktionsleistung des Projekts beziehungsweise des

Abb. 75: Kompensation von Emissionen durch Treibstoffimporteure

Entwicklung der Emissionsmengen importierter Treibstoffe und der von den Importeuren kompensierten Emissionsmengen.



Programms im Vergleich zur Referenzentwicklung zu einer zusätzlichen Emissionsverminderung führen (Additionalität).

Kompensationsprojekte können in unterschiedlichen Bereichen umgesetzt werden. Beispiele sind die Nutzung und Vermeidung von Abwärme (Dampfnutzung in der Industrie, Nutzung der Abwärme von Abwasserreinigungsanlagen, u. dergl.), die effiziente Nutzung von Prozesswärme beim Endnutzer, die Optimierung von Anlagen

(energetische Prozessintegration, Absenken des Temperaturniveaus, u. dergl.), die Nutzung von Biogas oder die Effizienzverbesserung im Personentransport oder Güterverkehr (BAFU 2019e).

7.3.6 Gegenwärtig diskutierte Massnahmen der zukünftigen Klimapolitik

Am 25. September 2020 hat das Parlament das revidierte CO₂-Gesetz für den Zeitraum 2021 – 2030 (vgl. Kap. 7.2) angenommen. Zur Zielerreichung sind in erster Linie die Fortführung und Verstärkung der bestehenden Instrumente vorgesehen. Wichtige neue Massnahmen sind die Einführung von CO₂-Grenzwerten im Gebäudebereich, die Abgaben in der Luftfahrt und die Errichtung des Klimafonds.

Gemäss Weltklimarat IPCC müssen die weltweiten Netto-Emissionen (Emissionen abzüglich der Emissionsmenge, die der Atmosphäre dauerhaft wieder entzogen wird) bis 2070 auf Null reduziert werden, damit die Klimaerwärmung auf weniger als 2 °C begrenzt werden kann. Deshalb ist es wichtig, in Ergänzung zu den Massnahmen zur Emissionsverminderung auch das Potenzial von Massnahmen zu evaluieren, die eine Abscheidung und langfristige Speicherung von CO₂-Emissionen ermöglichen. Der Bundesrat hat am 2. September 2020 einen Bericht über die Bedeutung von negativen CO₂-Emissionen für die künftige Schweizer Klimapolitik gutgeheissen und damit das Postulat 18.4211 von Ständerätin Adèle Thorens Goumaz beantwortet. Um CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen (sogenannte negative Emissionen), bedarf es spezieller Technologien, die erst teilweise vorhanden sind. Der Bericht empfiehlt dem Bund, bereits heute die Rahmenbedingungen für den starken Ausbau dieser Technologien zu schaffen.

Mit der Ausarbeitung einer langfristigen Klimastrategie erfüllt die Schweiz einen Auftrag aus dem Übereinkommen von Paris. Die Strategie soll aufzeigen, wie die Schweiz das Ziel Netto-Null Emissionen bis 2050 erreichen kann.

7.4 Weitere wichtige Beiträge zur Emissionsverminderung

Neben den Massnahmen des CO₂-Gesetzes tragen auch weitere Beiträge und Gesetzgebungen zur Emissionsverminderung bei.

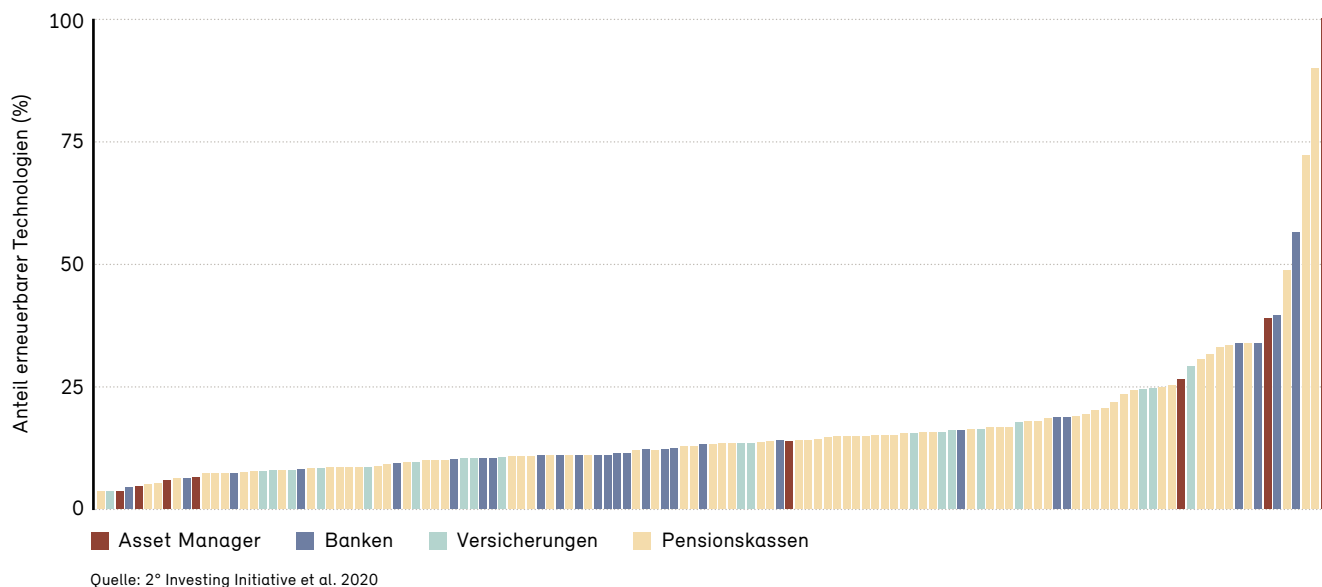
7.4.1 Finanzmarkt: Fortschrittmessung zu klimaverträglichen Finanzflüssen

Im Übereinkommen von Paris hat sich die Staatengemeinschaft zudem zum Ziel gesetzt, auch die globalen Finanzströme klimakompatibel zu gestalten (Art. 2.1.c). Dieses Ziel ist für die Schweiz relevant. Mit einem Anteil von über 9 % am Bruttoinlandprodukt ist der Finanzplatz ein wichtiger Sektor für die Schweizer Volkswirtschaft. Institutionelle Investoren wie Banken, Vermögensverwalter, Versicherungen und Pensionskassen können mit ihrem Investitions- und Finanzierungsverhalten den Übergang zu einer klimaverträglichen Weltwirtschaft unterstützen oder bremsen. Aus Klimasicht ist es zum Beispiel entscheidend, ob weiterhin viel Geld in Unternehmen investiert wird, die Strom aus Kohle erzeugen oder in solche, die auf erneuerbare Energien setzen. Investitionen und Finanzierungen sind klimaverträglich, wenn sie mit dem internationalen Klimaziel, die globale Erwärmung deutlich unter 2 Grad zu halten, übereinstimmen. Dieses Ziel, das vorerst durch freiwillige Massnahmen der Finanzbranche erreicht werden soll, hat das Parlament explizit im Zweckartikel des totalrevidierten CO₂-Gesetzes verankert. Der Bundesrat hat auch eine Arbeitsgruppe eingesetzt. Diese eruiert die Rahmenbedingungen, die es dem Schweizer Finanzplatz erlauben, im Bereich nachhaltiger Finanzen wettbewerbsfähig zu sein.

Um die Klimaverträglichkeit des Finanzplatzes Schweiz abzuschätzen, haben das BAFU und das Staatssekretariat für internationale Finanzfragen (SIF) im Jahr 2020 einen zweiten, umfassenden Test initiiert, mit dem Finanzportfolien auf ihre Klimaverträglichkeit analysiert werden. Alle Schweizer Banken, Vermögensverwalter, Pensionskassen und Versicherungen konnten freiwillig und anonym ihre Portfolien testen lassen. Insgesamt haben sich dieses Mal 179 Finanzinstitute freiwillig testen lassen; mehr als doppelt so viele wie bei der ersten Testrunde im Jahr 2017.

Abb. 76: Anteile der im Portfolio gehaltenen Firmen, die Strom aus erneuerbaren Technologien produzieren im Vergleich zu allen Stromproduzenten im Portfolio

Jede Säule entspricht einem teilnehmenden Finanzinstitut. Nicht abgebildet sind Anteile an Firmen, die Strom aus CO₂-intensiven Brennstoffen und CO₂-armen Alternativen herstellen, die jedoch aufgrund anderer Umweltauswirkungen umstritten sind (z. B. Wasserkraft, Atomkraft).



Die Tests wurden mit der PACTA-Methode (Paris Agreement Capital Transition Assessment)⁴² durchgeführt. Diese ermöglicht eine standardisierte Analyse für globale Aktien, Unternehmensanleihen und Kreditportfolien. Die Investitions- und Produktionspläne der in den Portfolien gehaltenen Firmen für die kommenden fünf Jahre werden mit den Zielpfaden⁴³ verglichen. Auf diese Weise kann ermittelt werden, wie ein klimaverträgliches Portfolio zusammengesetzt sein sollte. Mit einem Zusatzmodul konnte 2020 auch der Schweizer Immobilien- und Hypothekenportfolien untersucht werden. Mit der Analyse all dieser klimarelevanten Sektoren konnten 70–90 % der über die Kapitalmärkte indirekt verbundenen Emissionen erfasst werden.

Die Resultate (2° Investing Initiative et al. 2020) zeigen, dass der Schweizer Finanzmarkt nicht nur signifikant in die Erdöl- und Kohleförderung investiert ist, sondern sogar deren weiteren Ausbau mitfinanziert. Dies entspricht nicht der Zielsetzung aus dem Übereinkommen von Paris, die Finanzflüsse klimaverträglich auszurichten. Zudem ber-

gen solche Finanzanlagen finanzielle Risiken, wenn fossile Energieträger aufgrund klimapolitischer Massnahmen weniger attraktiv werden. Fortschritte gibt es aber durchaus: Die Teilnehmenden, die angaben, aufgrund der Tests 2017 gehandelt zu haben, schneiden 2020 besser ab als ihre Konkurrenz. Zudem halten verschiedene Finanzinstitute vermehrt Firmen in ihren Portfolien, die erneuerbare Energien und Elektromobilität ausbauen.

Zwei Drittel der Testteilnehmenden gab an, Klimastrategien zu verfolgen. Damit diese Wirkung zeigen und Kunden genügend über Klimarisiken und Auswirkungen ihrer Investitionen informiert sind, besteht aber Handlungsbedarf: Mehr als der Hälfte der Institute, die eigenen Angaben zufolge Kohle bei ihren Investitionen ausschliessen, halten noch Aktien und Anleihen von Unternehmen, die Kohle abbauen oder Kohlestrom produzieren.

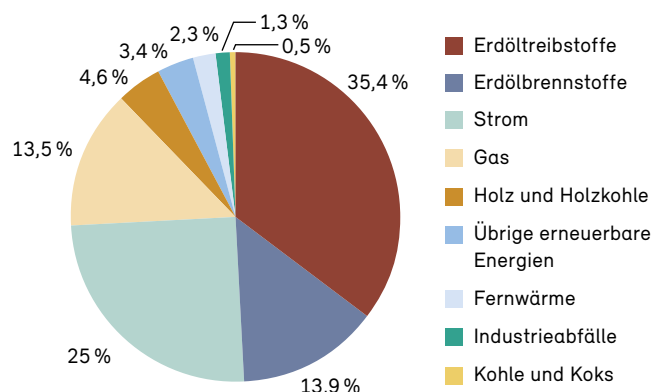
7.4.2 Energiestrategie 2050

2018 stammten fast zwei Drittel der Endenergieversorgung der Schweiz aus fossilen Energieträgern (Erdöltreibstoffe, Erdölbrennstoffe und Gas) (Abbildung 77). Eine Verringerung dieser Dominanz der fossilen Energien ist unerlässlich für den Klimaschutz.

⁴² www.transitionmonitor.com/pacta-2020

⁴³ Das beim Klimaverträglichkeitstest eingesetzte PACTA-Modell basiert auf dem 2-Grad-Szenario der Internationalen Energieagentur (IEA 2017) und übersetzt dieses in regionale Technologie- und Dekarbonisierungspfade für die besonders klimarelevanten Wirtschaftssektoren.

Abb. 77: Anteil der Energieträger an der Energieversorgung 2018



Quelle: BFE (2019d)

Ein geringerer Verbrauch an fossilen Energieträgern und der gleichzeitige, schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie, wie in der 2018 in Kraft getretenen neuen Energiegesetzgebung vorgeschlagen, bedingen gewisse

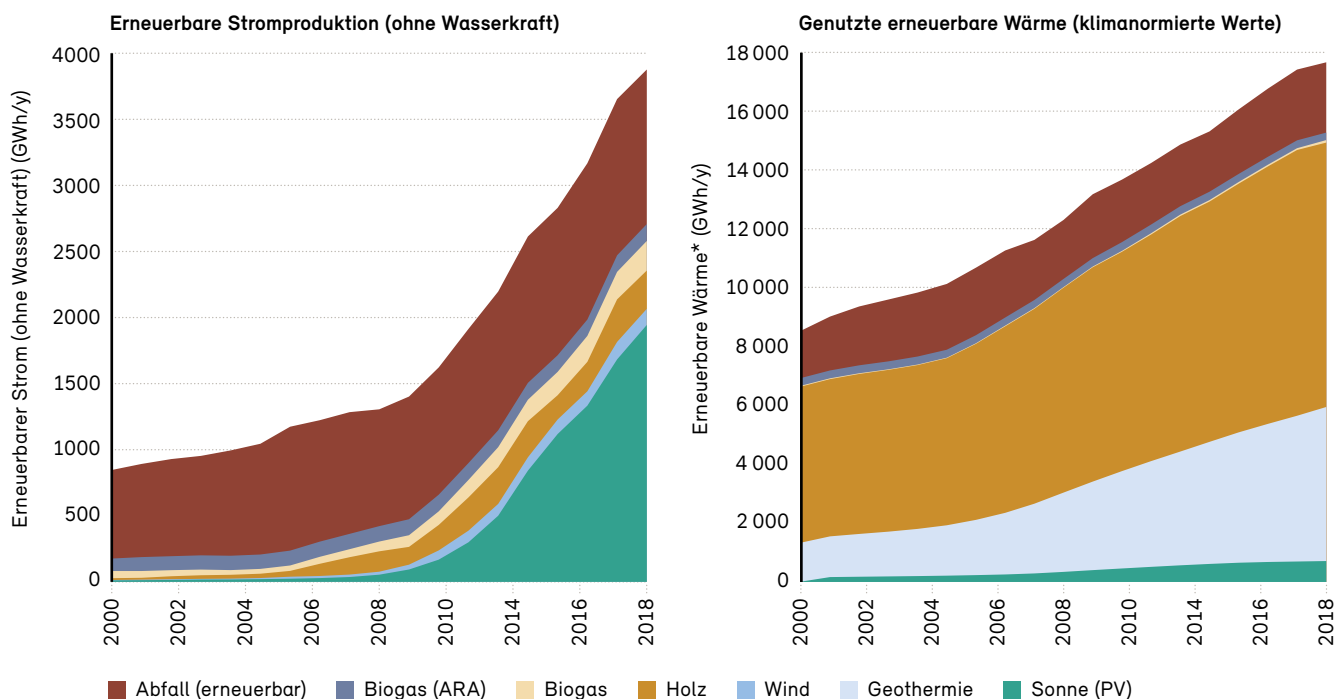
Anpassungen. Die Energiestrategie 2050 will das schweizerische System der Energieversorgung nach und nach umbauen (BFE 2019d). Das neue Energiegesetz (EnG) sieht namentlich die Förderung von erneuerbaren Energien vor. Neben der Wasserkraft erzeugen die anderen erneuerbaren Energieträger wie Sonne oder Wind bislang nur einen geringen Anteil des Stroms (2018: 6,1 %) (BFE 2019d). Die erneuerbaren Energien haben sich jedoch stark entwickelt (Abbildung 78).

Da allein durch den Zuwachs an erneuerbaren Energien die fossile und nukleare Energie möglicherweise nicht vollständig ersetzt werden kann, sieht das EnG auch verstärkte Anstrengungen zur Energieeinsparung vor. Bis zum Jahr 2035 soll der Endenergieverbrauch pro Person und Jahr gegenüber dem Stand von 2000 um 43 % sinken. Seit 2000 kann eine Verringerung des Endenergieverbrauchs pro Person beobachtet werden. Dazu beigetragen haben neben politischen Massnahmen und

Abb. 78: Erneuerbare Energienutzung nach Energieträger

Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) und der erneuerbaren Wärme, 2000 bis 2017 (GWh/a).

* Klimanormierte Werte



Quelle: BFE (2019c)

dem technologischen Fortschritt (Wärmedämmung, effizientere Beleuchtung oder Heizung) auch der Ersatz von fossilen Heizsystemen durch erneuerbare Heizsysteme (Abbildung 79) (BFE 2019e ; BFS 2020b ; Prognos, TEP, Infras 2019a+b).

7.4.3 Emissionsverminderung in der Landwirtschaft

Die Verminderung von Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft ist Sache der Landwirtschaftsgesetzgebung. Der Bundesrat hat am 12. Februar 2020 die Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik ab 2022 (AP22+) verabschiedet. Mit der AP22+ sollen der Ausstoss von Treibhausgasen reduziert und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft abgefedert werden.

Für den längerfristigen Zeithorizont liegt bereits seit 2011 die «Klimastrategie Landwirtschaft» vor (BLW 2011). Diese Klimastrategie strebt als strategisches Oberziel eine Emissionsverminderung um mindestens ein Drittel bis 2050 im Vergleich zu 1990 an. Verschiedene Massnahmen sollen dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen, u. a. die Erhöhung der Effizienz der Tierproduktion, die Emissionsverminderung bei der Lagerung und Ausbringung von Düngern sowie der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien. Die Herausforderung besteht auch darin, dieses Ziel zu erreichen und gleichzeitig den wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln zu decken (BLW 2011). Wird zusätzlich

zu den genannten Massnahmen auch von Veränderungen im Konsum- und Ernährungsverhalten ausgegangen, dann ist gemäss der Klimastrategie Landwirtschaft bis 2050 eine Emissionsreduktion um bis zu zwei Drittel gegenüber 1990 möglich.

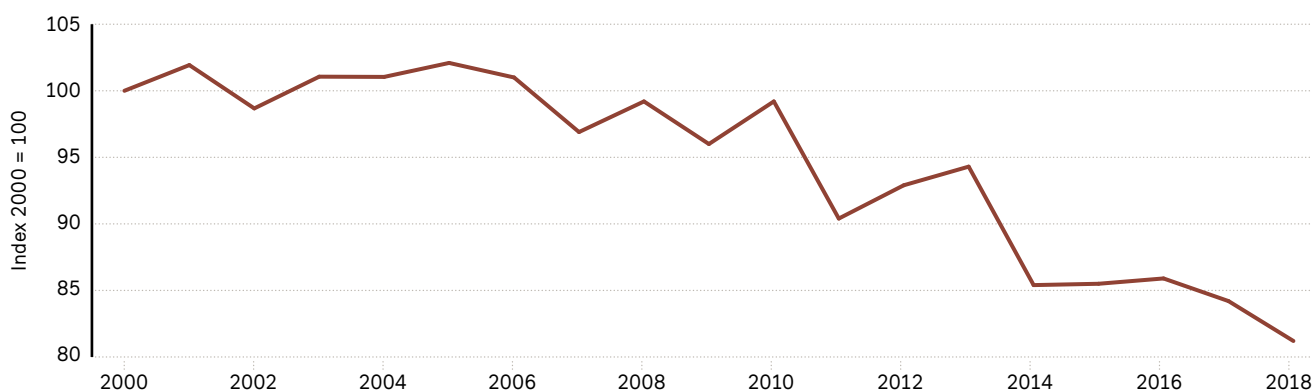
7.4.4 Verhaltensänderungen

Neben politischen und rechtlichen Massnahmen sind für die Emissionsverminderung auch Verhaltensänderungen auf individueller Ebene notwendig. Eines der grössten Hindernisse für klimafreundliches Verhalten besteht darin, dass es oft unmittelbar spürbare Nachteile für den Einzelnen mit sich bringt. Dazu zählen längere Reisezeiten, höhere Ausgaben oder generell der Verzicht auf gewisse energieintensive Konsumgewohnheiten (z. B. Flugreisen), die wichtig erscheinen. Die positiven Folgen hingegen sind nicht direkt wahrnehmbar und treten oft erst später ein.

Erschwerend für Verhaltensänderungen wirkt, dass der eigene Beitrag kaum einen Einfluss hat, wenn sich viele andere weiterhin klimaschädigend verhalten. Individueller Verzicht verstösst gegen das Gerechtigkeitsempfinden, solange andere nicht bereit sind, ihr Verhalten ebenfalls zu ändern. Zudem bewertet der Mensch die kurzfristigen gegenüber den langfristigen Folgen des Handelns generell höher. Diese evolutionär durchaus sinnvolle Priorisierung ist relativ fest verankert und muss bei Versuchen, das Verhalten zu beeinflussen, berücksichtigt werden.

Abb. 79: Entwicklung des Endenergieverbrauchs pro Kopf

Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs seit 2000 (ohne Landwirtschaft, internationaler Flugverkehr, Gasverbrauch für den Betrieb der Kompressoren der Transitleitung für Erdgas). Die grossen Schwankungen sind witterungsbedingt.

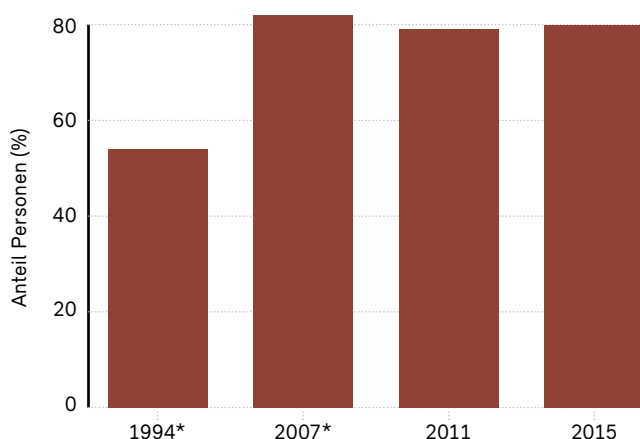


Quellen: BAZL (2019), BFE (2019e), BFS (2020b), Prognos, TEP, Infras (2019a)

Die Anerkennung des Klimawandels als ernsthaftes Problem ist eine notwendige Voraussetzung für die Motivation, etwas zur Problemlösung beizutragen. Mit Umfragen kann die Einstellung der Bevölkerung zum Klimawandel ermittelt werden. In den letzten zehn Jahren waren rund 80 % der Befragten der Ansicht, dass vom Klimawandel eine «eher hohe» oder «sehr hohe» Gefahr ausgeht. Im Jahr 1994 waren lediglich 54 % dieser Meinung (Abbildung 80).

Abb. 80: Einstellung zum Klimawandel

Anteil der Personen, die der Meinung sind, dass vom Klimawandel eine «eher hohe» oder «sehr hohe» Gefahr ausgeht. 1994 und 2007: Resultate des Schweizer Umweltsurvey (ETHZ); 2011 und 2015: Befragung «Wahrnehmung von Umweltqualität und Umweltverhalten» des BFS.



* In den Jahren 1994 und 2007 wurde statt einer vierstufigen eine fünfstufige Skala verwendet. Die Resultate sind deshalb nicht vollständig vergleichbar.

Quellen: BFS (2011, 2015), ETHZ (1994, 2007)

Information, Bildung und Sensibilisierung sind die gebräuchlichsten Ansätze, um Menschen zu klimafreundlicherem Verhalten zu bewegen. Am erfolgversprechendsten sind sie dann, wenn es gelingt, einen persönlichen Bezug zu den Risiken des Klimawandels herzustellen. Um zu vermeiden, dass sich Personen hilflos oder überfordert fühlen, ist es wichtig, konkrete Lösungswege und mögliche Beiträge zur Verbesserung der Situation aufzuzeigen.

Eine weitere wichtige Motivation für das Verhalten ist die soziale Einbindung. Kollektive Massnahmen, in denen sich Gruppen beispielsweise gemeinsam ausgehandelte Ziele setzen und der Beitrag des Einzelnen gegebenenfalls

sogar öffentlich gemacht wird, haben oft stärkere Effekte als Massnahmen, die Menschen individuell ansprechen. Menschen sehen das Verhalten anderer häufig als Hinweis an, welches Verhalten angemessen und erstrebenswert ist – das heisst, sie orientieren sich in ihrem Verhalten oft an der Mehrheit. Anstatt zu betonen, wie viele Menschen sich nach wie vor klimaschädigend verhalten, sollte deshalb besser auf vorbildliche Personen verwiesen werden.

Als Klimaschutzmassnahmen wirken auch kleinere, aber wichtige Änderungen an den Situationen, in denen das Verhalten stattfindet. Dabei geht es darum, klimafreundliches Handeln einfacher, bequemer, attraktiver und preiswerter zu machen. Solche Massnahmen, die häufig auch als «Nudging» («Anstupsen») bezeichnet werden, erfreuen sich zunehmender Beliebtheit, da sie in der Regel eine unmittelbare und vom individuellen Umweltbewusstsein unabhängige Wirkung zeigen.

Ein wirkungsvolles Beispiel für «Nudging» sind so genannte Defaults («Voreinstellungen»). Diese knüpfen daran an, dass sich der Mensch in Wahlsituationen vorzugsweise für die einfachste, naheliegendste (Standard-)Variante entscheidet. Wenn ein Stromversorger beispielsweise standardmässig Ökostrom liefert, entscheiden sich relativ wenige Personen aktiv für eine andere, weniger umweltfreundlichere Variante, selbst wenn diese preiswerter ist.

8 Anpassung an den Klimawandel

Der Klimawandel hat in der Schweiz bereits zu vielen Veränderungen geführt (vgl. Kap. 5 und 6). Er lässt sich auch in Zukunft nicht mehr verhindern, sondern nur noch begrenzen. Aus diesem Grund wird die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz immer wichtiger.

Seit 2012 ist die Anpassung (Adaptation) an den Klimawandel im CO₂-Gesetz verankert.⁴⁴ Es beauftragt den Bund, Anpassungsmassnahmen zu koordinieren und für die Anpassung benötigte Grundlagen verfügbar zu machen. Auch das Übereinkommen von Paris betont die Wichtigkeit der Anpassung. Der Bundesrat hat mit seiner Strategie «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz» den Rahmen für ein koordiniertes Vorgehen auf Bundesebene bei der Bewältigung von Klimafolgen geschaffen. Die Ziele der Strategie sind:

- Minimierung der klimabedingten Risiken;
- Nutzung der Chancen des Klimawandels;
- Steigerung der Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.

Die Anpassungsstrategie besteht aus zwei Teilen: Der erste Teil aus dem Jahr 2012 beinhaltet Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder bei der Anpassung an den Klimawandel (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). Darauf aufbauend wurden zwei Aktionspläne mit konkreten Anpassungsmassnahmen für die Jahre 2014 bis 2019 (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014) und 2020 bis 2025 (Schweizerische Eidgenossenschaft 2020) erstellt. Darin sind Massnahmen für die Bereiche Umgang mit Naturgefahren, Bodenschutz, Wasser-, Land- und Waldwirtschaft, Energie, Wohnungswesen, Tourismus, Biodiversitätsmanagement, Gesundheit und Raumentwicklung enthalten.

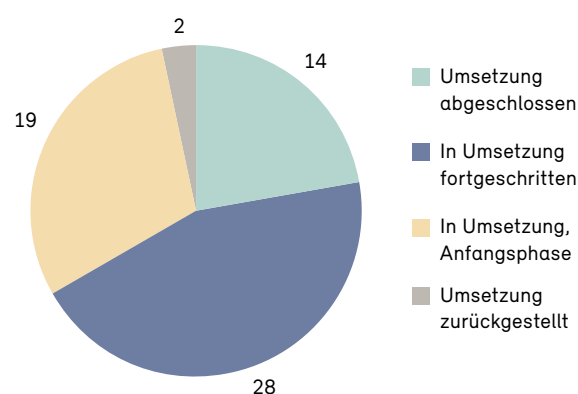
Das vorliegende Kapitel präsentiert Beispiele von Aktivitäten zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels. Der Aktionsplan (Kap. 8.1) und das Pilotprogramm (Kap. 8.2) geben eine Übersicht über verschiedene Anpassungsaktivitäten auf lokaler und regionaler Ebene. Anschliessend werden Massnahmen in der Gewäs-

serbewirtschaftung (Kap. 8.3), in der Raumentwicklung (Kap. 8.4), im Umgang mit Naturgefahren (Kap. 8.5), in der Waldwirtschaft (Kap. 8.6) und im Wintertourismus (Kap. 8.7) vorgestellt sowie Anpassung in weiteren Sektoren kurz erwähnt (Kap. 8.8).

8.1 Aktionsplan

Der Aktionsplan 2020–2025 enthält 75 Massnahmen der Bundesämter zur Anpassung an den Klimawandel. 63 Massnahmen zielen darauf ab, die Rahmenbedingungen für Anpassungen an den Klimawandel in den Sektorpolitiken zu überprüfen und zu verbessern, die Wissensgrundlagen durch Monitoring und Forschung zu verbessern und Anpassungen an den Klimawandel umzusetzen. Zwölf Massnahmen sind bereichsübergreifend ausgerichtet. Sie sollen die Wissensgrundlagen sowie die Handlungsfähigkeit durch Koordination, Information und Sensibilisierung verbessern.

Abb. 81: Stand der Umsetzung der Massnahmen auf Bundesebene 2019⁴⁵



Quelle: BAFU (2019h)

44 CO₂-Gesetz (SR 641.71).

45 Der Stand der Umsetzung der Massnahmen 11 bis 16 ist nicht in der Abbildung 81 enthalten.

Die Schlussbilanz des Aktionsplans 2014 – 2019 fällt positiv aus. 14 der 57 Massnahmen⁴⁶ sind umgesetzt, 28 sind in der Umsetzung fortgeschritten⁴⁷ und 19 sind in der Anfangsphase. Die Umsetzung von zwei Massnahmen wurde zurückgestellt.

Eine Evaluation der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (Landis et al. 2017) kommt zum Schluss, dass die Strategie einen wichtigen Beitrag zur Anpassung geleistet hat. Einerseits hat sie einen gemeinsamen Rahmen für das koordinierte Vorgehen der beteiligten Bundesämter und der Kantone geschaffen. Andererseits hat die Erarbeitung der Strategie, einschliesslich die systematische Bearbeitung von anpassungsrelevanten Themen die Bundesämter sensibilisiert und zum Handeln bewegt.

8.2 Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel

Das Pilotprogramm unterstützt die Umsetzung der Anpassungsstrategie auf lokaler und regionaler Ebene. Es fördert innovative, beispielhafte und bereichsübergreifende

Projekte zur Anpassung an den Klimawandel. Zugleich sensibilisiert es die Kantone, Städte und Gemeinden für die Bedeutung der Anpassung an den Klimawandel und bestehende Handlungsmöglichkeiten.

Das Pilotprogramm ist eine gemeinsame Aktivität verschiedener Bundesämter. In der ersten Programmphase von 2014 bis 2017 wurden 31 Projekte durchgeführt (BAFU 2017a). An der seit 2019 laufenden zweiten Programmphase sind zehn Bundesämter⁴⁸ beteiligt und es werden 50 Projekte unterstützt. Diese Projekte sind geographisch über die ganze Schweiz verteilt und in sechs Schwerpunktthemen zusammengefasst (Abbildung 82).

Die Vielfalt der Herausforderungen und Lösungsansätze widerspiegelt sich auch in den 50 geförderten Projekten. Diese verfolgen so unterschiedliche Ansätze wie die Materialeffizienz, die Erprobung von Planungsprozessen, den Aufbau neuer Netzwerke, und die Entwicklung von Sensibilisierungs- und Mitwirkungsinstrumenten. Nach Abschluss der Projekte sollen die gesammelten Erfahrungen in Anpassungsaktivitäten in anderen Kantonen, Regionen und Gemeinden einfließen.⁴⁹

46 Die Abbildung 81 enthält 60 Antworten, da bei den Massnahmen n1 und n7 die Antworten aller federführenden Ämter berücksichtigt wurden.

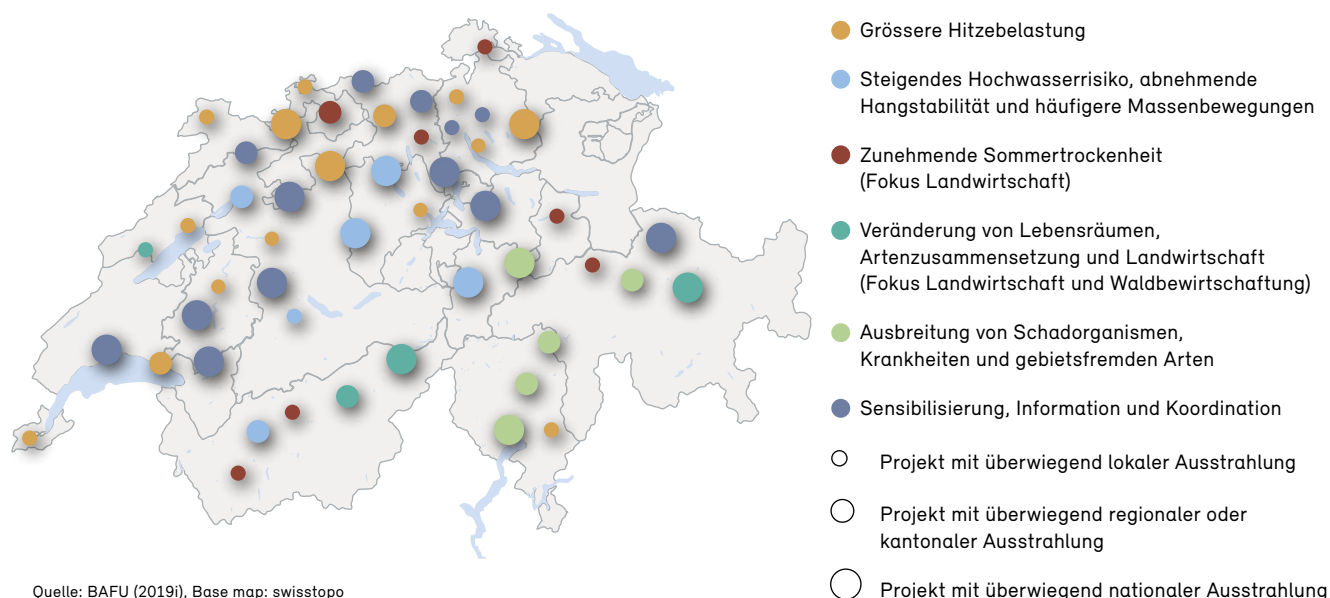
47 enthält alle Daueraufgaben.

48 BAFU, ARE, ASTRA, BABS, BFE, BAG, BLV, BLW, BWO und MeteoSchweiz

49 Für mehr Informationen: www.nccs.admin.ch/pilotprogramm

Abb. 82: Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel

Geografische und thematische Verteilung der 50 Pilotprojekte.



8.3 Anpassung in der Wasserwirtschaft

In der Anpassungsstrategie des Bundesrates an den Klimawandel wird das angebotsorientierte Wassermanagement als eine der Voraussetzungen erwähnt, um die formulierten Ziele zu erreichen (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). Mit der Verabschiedung des Berichts «Umgang mit lokaler Wasserknappheit der Schweiz» (BAFU 2012c) beschloss der Bundesrat Massnahmen für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen. Diese sollen es erlauben, Knappheitssituationen kurz- wie langfristig integral zu bewältigen. In der Folge hat das BAFU verschiedene Materialien⁵⁰ zum Umgang mit Wasserknappheitsproblemen erarbeitet. Diese Praxisgrundlagen unterstützen die Kantone beim integralen Wassermanagement. Durch eine vorausschauende regionale Planung der Wasserressourcen können die Kantone Probleme frühzeitig erkennen, angehen und Nutzungskonflikte vermeiden.

Kantonale Wasserstrategien, regionale Wasserressourcenbewirtschaftung und Wasserversorgungsplanung sind zentrale Elemente für eine nachhaltige Wasserwirtschaft (BAFU et al. 2019). Zehn Kantone verfügen bereits über kantonale Wasserstrategien, in vier Kantonen wird eine solche aktuell erarbeitet und in zwei Kantonen ist eine solche geplant (BAFU et al. 2019).

Die Renaturierung der Wasserläufe ist in vielen Fällen eine geeignete Massnahme, um die nachteiligen Einwirkungen auf den Temperaturhaushalt von Fließgewässern zu vermindern. Tiefe Pools und Flussläufe ohne hohe Schwellen ermöglichen es den Fischen, sich ins kühle Tiefenwasser zurückzuziehen oder flussaufwärts zu wandern. Die Uferbestockung wirkt sich günstig auf die Gewässertemperatur aus. Sie ist für aquatische Lebewesen, die auf kühles Wasser angewiesen sind, von grosser Bedeutung. Gebüsche oder Baumstrukturen schaffen nicht nur vielfältige und ökologisch wichtige Strukturen, die Beschattung reduziert auch die Erwärmung der Gewässer (Rutherford et al. 2004, Maison de la Rivière 2012, Bowler et al. 2012).

50 z. B. Grundlagen für die Wasserversorgung 2025 (BAFU 2014a), Praxisgrundlagen Wasserressourcenmanagement: Instrumente zur Früherkennung von Wasserknappheitsproblemen (Wasserknappheitshinweiskarten) (Chaix et al. 2016), Massnahmenvorschläge für die langfristige Sicherstellung der Wasserressourcen (Wehse et al. 2017), Werkzeugkasten zur kurzfristigen Bewältigung von Wasserknappheitssituationen (Zahner & Guhl 2017).

8.4 Anpassung in der Raumentwicklung

Auch raumplanerische Massnahmen spielen eine wichtige Rolle bei der Anpassung an den Klimawandel. Beim Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) liegt der Fokus mehrheitlich auf der Erarbeitung von Grundlagen für Planerinnen und Planer, bei der Erweiterung/Anpassung der eigenen raumplanerischen Instrumente, der Förderung von innovativen Pilotprojekten und bei der Sensibilisierung für Themen wie klimaangepasste Stadtentwicklung und risikobasierte Raumplanung. Mithilfe raumplanerischer Möglichkeiten soll der Hitzeinseleffekt reduziert werden.⁵¹ Frei- und Grünräume ermöglichen eine verbesserte Luftzirkulation und tragen zur Verbesserung der Luftqualität bei.

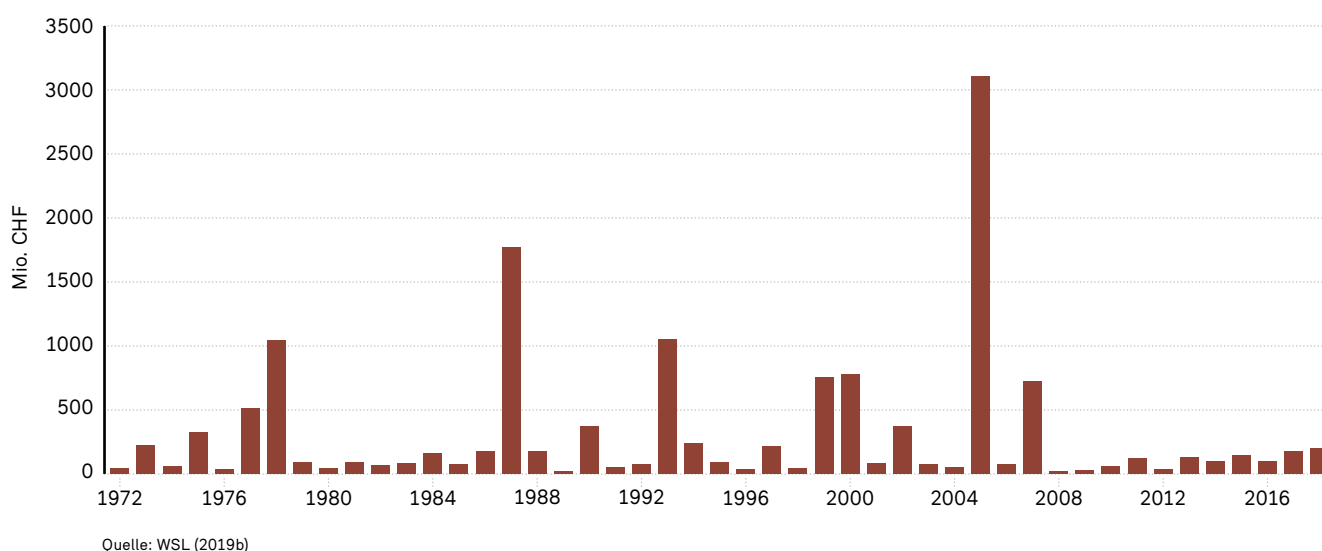
Ein Projekt in Sitten, das im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel (vgl. Kap. 8.2) durchgeführt wurde, zeigt beispielhaft auf, wie Hitzewellen mit raumplanerischen Möglichkeiten begegnet werden kann. Sitten war in den letzten Jahrzehnten diejenige Schweizer Stadt mit den am stärksten angestiegenen Temperaturen. Es ist deshalb kein Zufall, dass in Sitten das Projekt einer klimaangepassten Stadtentwicklung, mit dem passenden Namen ACCLIMATASION entstand. Verschiedene Massnahmen wurden umgesetzt, um die Bildung von Wärmeinseln zu verhindern, die negativen Auswirkungen auf natürliche Lebensräume zu vermindern und die Lebensqualität der Bevölkerung zu verbessern: Bei einem Schulhaus wurde unter Einbezug der Schulkinder ein kühlendes Biotop erstellt. Auf einem Privathaus wurde eine standortangepasste Dachbegrünung zur Unterstützung der Biodiversität realisiert. Eine zentral gelegene Parkfläche wurde aufgehoben und als attraktiver Platz neugestaltet. Das grösste Projekt in Sitten war die Neugestaltung des 1 km langen Cours Roger Bonvin, welcher auch an Hitzetagen mit schattenspendender Begrünung, offenen Wasserflächen und attraktiven Spielmöglichkeiten zum Verweilen einlädt.

Auch verschiedene Projekte der zweiten Phase des Pilotprogramms des Bundes befassen sich mit der Raumentwicklung. Das Projekt «städtische Hochbauten opti-

51 Für mehr Informationen: BAFU & ARE 2018: Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bundesamt für Umwelt, Bern. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-in-staedten.html>

Abb. 83: Schäden aus Naturereignissen

Jährliche Schadenssummen (teuerungsbereinigt, Preisbasis 2018) als Folge von Hochwasser, Murgängen, Rutschungen, Steinschlag sowie Fels- und Bergsturz 1972 bis 2018.



mieren» der Stadt Zürich analysiert wie sie über eigene Neubauprojekte bereits beim Architekturwettbewerb und im Planungsverfahren Einfluss auf das lokale Stadt-Klima nehmen können. Stadtklimatische Kriterien sollen bereits im Pflichtenheft von Wettbewerben aufgenommen werden und für künftige Projektentwicklungen genutzt werden. Das Projekt «Bäume und Natur in der Stadt» entwickelt im Rahmen der Richtplanung des Kantons Jura ein Konzept zur Erhaltung, zum Unterhalt und zur Entwicklung der Natur in der Stadt Pruntrut. Mithilfe einer Bestandsaufnahme werden Zielvorstellungen festgelegt und die öffentlichen Räume bezeichnet, die in Bezug auf ihre biologische Vielfalt und lokalklimatische Bedeutung aufzuwerten sind.

8.5 Anpassung an extreme Naturereignisse

Die Entwicklung der Kosten aus Naturereignissen kann als Indikator für die Wirksamkeit der ergriffenen Schutzmassnahmen herangezogen werden. Sieht man vom Hochwasser im August 2005 ab, welches das bislang teuerste Naturereignis der Schweiz war, ist kein Anstieg der durch Extremereignisse verursachten Schadenssumme feststellbar (Abbildung 83). Die von 1972 bis 2018 verzeichneten Unwetter verursachten Schäden in Höhe von

14,3 Milliarden CHF. Der seit 1970 feststellbare Anstieg der jährlichen Schadenkosten korreliert jedoch bei Weitem nicht mit der Zunahme der Bevölkerung, der überbauten Flächen und der Sachgüterdichte. Dieser erfreuliche Tatbestand lässt sich zu einem grossen Teil auf die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmassnahmen zurückführen (BAFU & WSL 2007).

Für einen besseren Umgang mit Naturgefahren und somit eine Reduktion der Schäden aus Naturereignissen verfolgt der Bund den Ansatz des integralen Risikomanagements (IRM). Dieses ist auch für die aktualisierte nationale Strategie für Naturgefahren⁵² wegweisend. Rahmenbedingungen, wie etwa die durch den Klimawandel verursachte Zunahme extremer Wetterereignisse (Starkniederschläge, Hitzewellen, usw.) oder die stärkere Nutzung risikorexponierter Räume, werden darin berücksichtigt. Auch den neuen Klimaszenarien (CH2018 2018) wird Rechnung getragen.

Ein wichtiges Anliegen des IRM ist es, dass Schutzkonzepte robust ausgelegt und anpassbar gestaltet werden und der Überlastfall berücksichtigt ist. So bleiben Schutzmassnahmen auch bei einer Änderung der Prozesse auf

52 Mehr Informationen: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/53006.pdf>

Grund des Klimawandels (z. B. Niederschlagsintensität, Abflussmenge, Wasserfracht, Geschiebe, Schwemmholz) weiterhin funktionsfähig. Mit der bevorstehenden Anpassung des Wasserbaugesetzes (WBG SR 721.100) werden unter anderem die Grundsätze der risikobasierten Raumnutzung verankert und die Förderung aller Massnahmen im Sinne des IRM ermöglicht.

Auch die im Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel genannten Massnahmen im Bereich Umgang mit Naturgefahren stehen im Einklang mit dem IRM (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014). Das kontinuierliche Monitoring der Gefahrenprozesse und Ereignisse bildet dabei die fundamentale Grundlage für alle Bereiche der Gefahrenprävention sowie für Sektoren, welche von Naturgefahren betroffen sind (Landwirtschaft, Verkehr, Energie etc.).

Die Klimaänderung stellt für den Bevölkerungsschutz eine wesentliche Herausforderung dar. Die Vorbereitung auf Ereignisse und die Intervention bei Katastrophen und Notlagen sind seine zentralen Aufgaben. Dabei gilt es, mögliche Risiken frühzeitig zu antizipieren. Die Verantwortlichen für die Katastrophenvorsorge auf den verschiedenen Ebenen von Bund, Kantonen und Gemeinden arbeiten zu diesem Zweck mit Risikoanalysen.

Im Rahmen des Programms KATAPLAN haben 20 Kantone in den vergangenen Jahren solche Risikoanalysen durchgeführt und dabei auch den Einfluss des Klimawandels berücksichtigt. Einige Kantone führen solche Analysen in vereinfachter Form auch auf Ebene der Gemeinden durch. Auf Stufe Bund wird dieselbe Methodik im Rahmen der nationalen Risikoanalyse Katastrophen und Notlagen Schweiz angewandt.

Einer gut funktionierenden Information, Warnung und Alarmierung der Bevölkerung kommt angesichts von zunehmenden Risiken grosse Bedeutung zu. Die Bevölkerung wird vor Naturgefahren über das Naturgefahrenportal und die App der MeteoSchweiz informiert und wenn nötig gewarnt. Ergänzend dazu betreibt das BABS gemeinsam mit seinen Partnern die nationale Plattform «Alertswiss», welche auch als App für Smartphones existiert. Über Alertswiss alarmieren die Kantone die Bevölkerung und verbreiteten Warnungen und Informationen zu Katastrophen und Notlagen.

Im Rahmen des NCCS wurde der Zusammenhang zwischen Starkniederschlägen und den Einsätzen von Schutz & Rettung Zürich (SRZ) analysiert. Die Analyse zeigt, dass ein klarer Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und der Anzahl Einsätze von SRZ besteht. Gleichzeitig hat sie aber auch verdeutlicht, dass in der nahen Zukunft (20 Jahre) die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung die grössere Herausforderung für SRZ darstellt als der Klimawandel. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts dürften die Auswirkungen des Klimawandels jedoch an Bedeutung gewinnen.⁵³

8.6 Klimaangepasste Waldbewirtschaftung

2009–2018 haben das BAFU und die WSL ein Forschungsprogramm zu Wald und Klimawandel durchgeführt und damit standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung geschaffen (Plüss et al. 2016). Die Ergebnisse des Forschungsprogramms wurden mit zahlreichen Waldfachleuten diskutiert und deren Rückmeldungen sind wiederum in Modellierungen der Baumartenentwicklung unter verschiedenen Klimabedingungen eingeflossen (Frehner et al. 2018).

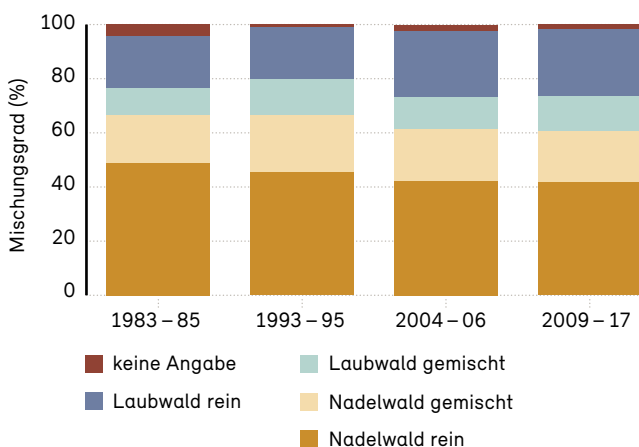
Ein naturnaher Mischwald mit einem hohen Anteil an einheimischen Laubhölzern ist besser an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst als reine oder gemischte Nadelwälder. Eine Auswertung der vier Landesforstinventare (LFI)⁵⁴ zeigt, dass der Anteil der Laubmischwälder und der reinen Laubwälder in der Schweiz steigt und der Anteil reiner Nadelwälder sinkt (Abbildung 84). Diese Entwicklung bringt zum Ausdruck, dass bei der Waldbewirtschaftung vermehrt ökologische Kriterien berücksichtigt werden (Rückführung hin zu mehr oder weniger naturnahen Baummischungen im Mittelland). Die zunehmende Tendenz beim Laubholzanteil im Mittelland dürfte sich inzwischen fortgesetzt haben.

⁵³ Mehr Informationen: <https://www.babs.admin.ch/de/publikservice/downloads/gefrisiken.html#ui-collapse-617> und www.nccs.admin.ch/bevoelkerungsschutz

⁵⁴ Die vier Landesforstinventare zeigen den Stand 1983–1985 (LFI1), 1993–1995 (LFI2), 2004–2006 (LFI3) und 2009–2017 (LFI4). Seit 2009 können Ergebnisse jährlich abgerufen werden.

Abb. 84: Waldfläche nach Mischungsgrad

Laub- und Nadelwaldanteile in Prozent der Waldfläche aufgrund der vier Landesforstinventare (LFI) 1983 bis 1985, 1993 bis 95, 2004 bis 06 und 2009 bis 13.



Quelle: Abegg et al. (2014)

Der Waldbau muss dem sich ändernden Klima künftig vermehrt Rechnung tragen. Neben den Ungewissheiten hinsichtlich der Waldentwicklung, nehmen die Risiken für Waldbrände zu und die Wahrscheinlichkeit für Starkwindereignisse bis hin zu Stürmen steigt. In verschiedenen Landesteilen werden erste Anpassungsmassnahmen durchgeführt, hier einige Beispiele:

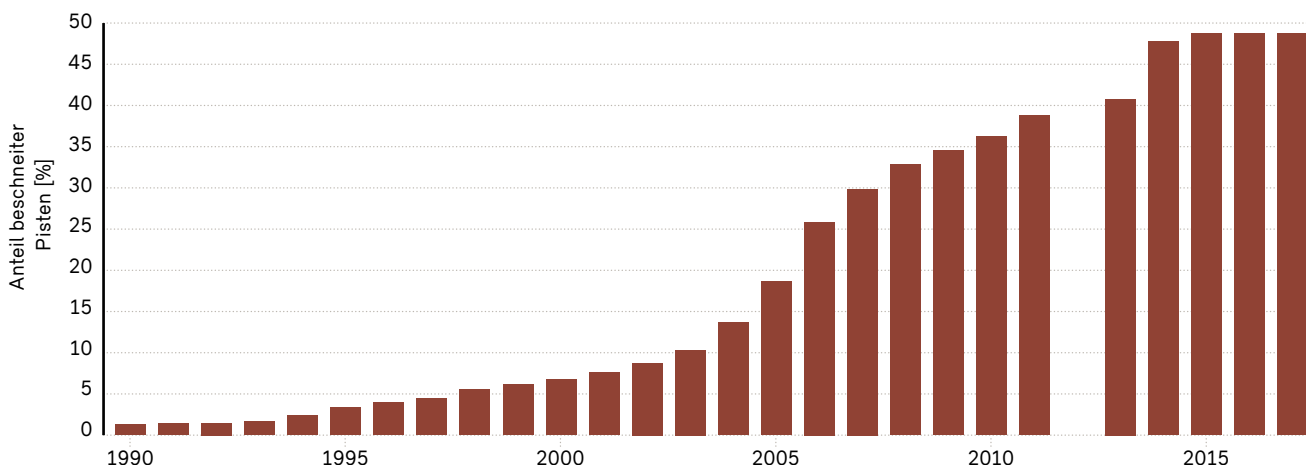
- In kantonalen Forstdiensten und in Forstbetrieben wird die Anpassung der Wälder an die Veränderung des Klimas überall thematisiert. Im Forstbetrieb der Stadt Baden zum Beispiel werden die Eichen gefördert und der Anteil gefährdeter Bäume, vor allem Fichten, wird reduziert. So entstehen Wälder mit einheimischen, standortgerechten Arten (Stadt Baden 2005).
- Im Wallis schwächen heisse, trockene Sommer die Föhren und führen zu erhöhter Mortalität, besonders in tieferen Lagen unterhalb von 1200 m ü. M. Dieser Prozess kann durch Entfernen der von Insekten und Pilzen befallenen Föhren oder Durchforstung nur geringfügig beeinflusst werden. Besser gedeiht an solchen Standorten die hier ursprünglich vorhandene, Trockenheit gewohnte Flaumeiche. Weil diese heute nicht mehr überall vertreten ist, sollte sie vom Forstdienst aktiv eingebracht werden, damit der Wald erhalten bleibt und seine Schutzfunktion weiterhin erfüllen kann (Wohlgemuth 2006).

8.7 Anpassung im Wintertourismus

Die technische Beschneigung wird in zahlreichen Ski-gebieten zunehmend genutzt, um die Saisonzeiten zu verlängern und den Betrieb auf den tiefer gelegenen Pisten

Abb. 85: Flächenanteil der Pisten mit Beschneigungsanlagen

Anteil der Pistenflächen, die künstlich beschneit werden können, in Prozent der Gesamtfläche der erfassten Pisten (100 % = 180 km²), 1990 bis 2017 (für 2012 sind keine Daten verfügbar). Die Stichprobe umfasst 63 Skigebiete und deckt 80 % der gesamten Pistenfläche der Schweiz ab (total 225 km²).



Quelle: SBS (2018a)

aufrechterhalten zu können (WSL 2019a). Während 1990 nur 2,3 km² Pisten über Beschneiungsanlagen verfügten (1,3 % der Pisten), hat sich diese Zahl 2017 auf 88,2 km² erhöht, was fast der Hälfte der Pistenfläche entspricht (Abbildung 85). Allerdings erklären auch andere Parameter den Einsatz von Kunstschnee, z. B. die Gewährleistung einer hohen Pistenqualität.

Künstliche Beschneigung ist nicht nachhaltig. Sie ist keine dauerhafte Lösung, solange sie Lufttemperaturen nahe Null Grad bedingt (WSL 2019a). Ausserdem erfordert sie Energie und Wasser, was bei knapper werdenden Wasserressourcen zu Interessenkonflikten führen kann (vgl. Kap. 8.3). Weiter tendieren einige Skorte dazu, ihr Skigebiet in höhere Lagen auszudehnen, was negative Auswirkungen auf die Landschaft oder die Biodiversität haben kann (Abegg et al. 2007).

Anpassungsperspektiven bieten sich auch mit der Diversifizierung des Angebots der Wintersportgebiete an. Angebote in Richtung Sommertourismus oder für Personen, die nicht Ski fahren, stehen dabei im Vordergrund. In der Schweiz haben sich die Verkehrserträge (Seilbahnen, Standseilbahnen, Sesselbahnen, uws.) in der Sommersaison seit 2008 verdoppelt, während jene der Wintersaison um 20 % geschrumpft sind (SBS 2018b).

8.8 Anpassung in weiteren Sektoren

Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel werden vom Bund auch in weiteren, vom Klimawandel betroffenen Bereichen (vgl. Kap. 5 und 6) durchgeführt.

Gesundheit: Das BAG fördert die Anpassung mit Informationen und Empfehlungen zum Schutz bei Hitzewellen. Abgesehen vom Kanton Jura haben alle Westschweizer Kantone sowie der Kanton Tessin seit 2003 Massnahmenpläne zum Schutz der Bevölkerung bei Hitzewellen entwickelt. Statistische Analysen weisen darauf hin, dass diese Pläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen beitragen (Ragettli & Rösli 2019, BAFU et al. 2019). Weiter wird die Ausbreitung der asiatischen Tigermücke (vgl. Kap. 6.1.4) in mehreren Kantonen laufend überwacht und vektorübertragene Infektionskrankheiten sind meldepflichtig. Dies erlaubt, bei Bedarf zeitnah gezielte

Bekämpfungsmassnahmen zu ergreifen. Aufgrund eines Anstiegs der Fallzahlen von FSME und Borreliose (vgl. Kap. 6.1.3) hat das BAG 2019 die gesamte Schweiz, mit Ausnahme der Kantone Genf und Tessin, zum FSME-Risikogebiet erklärt (BAG 2019b). Damit wird praktisch in der ganzen Schweiz eine Impfung gegen FSME für alle Personen empfohlen, die während der Arbeit oder in der Freizeit mit Zecken in Kontakt kommen könnten. Während gegen das FSME-Virus eine gut wirksame Impfung zur Verfügung steht, ist in der Schweiz keine Impfung gegen Borreliose erhältlich.

Biodiversität: Die Anpassung von Tieren und Pflanzen hängt von ihrer natürlichen Anpassungsfähigkeit sowie vom menschlichen Handeln ab. Mögliche Massnahmen, welche die Anpassung unterstützen, sind unter anderem das Einrichten und Erhalten von Schutzgebieten und die Vernetzung von Biotopen (Köllner et al. 2017). Der Bundesrat hat 2012 die Strategie Biodiversität Schweiz sowie 2017 den dazugehörigen Aktionsplan 2017 verabschiedet.⁵⁵ Letzter enthält Massnahmen zum Schutz der Biodiversität und zur Erhöhung ihrer Anpassungsfähigkeit.

Energie: Im Rahmen des Aktionsplans Anpassung an den Klimawandel beobachtet das BFE die Entwicklung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs und ist in Kontakt mit der Energiebranche, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Landwirtschaft: Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) unterstützt die Anpassung im Sektor Landwirtschaft mit Forschung zu standortangepassten Sorten und Bewirtschaftung sowie mit Sensibilisierungsmassnahmen. Mithilfe von vorausschauenden Anpassungsmassnahmen können so die sich bietenden Chancen genutzt und die negativen Auswirkungen auf Erträge und Umwelt abgefedert werden.

Indirekte Auswirkungen: Die Schweiz hat je nach Einflussbereich unterschiedliche Möglichkeiten mit den Risiken und Chancen, verursacht durch den Klimawandel im Ausland umzugehen. Die Privatwirtschaft hat durch Diversifizierung von Zulieferketten und Absatzmärkten oder durch Zusammenarbeit mit Zulieferern zur Stärkung der Resi-

⁵⁵ www.bafu.admin.ch/biodiversitaetsstrategie

lienz Hebel um zu reagieren. Ausserdem müssen Klimarisiken in die Beschaffungsprozesse integriert werden. Bei Vorleistungen von Nahrungsmitteln kann zum Teil diversifiziert werden. Bei der Energieversorgung bestehen Pflichtlager bei fossilen Energieträgern wie Erdöl. Mehrere Pipelines für Erdgas und Anschlüsse an Erdgasspeicher streuen das Risiko. Die hohe Grenzkapazität bei Elektrizität kann klimabedingte Unterbrüche abfedern. Im Finanz- und Versicherungssektor werden Klimarisiken bereits heute teilweise berücksichtigt. Dies kann und muss aber noch weiter ausgebaut werden. Um die Sicherheit in fragilen Staaten zu stärken ist die Entwicklungszusammenarbeit, humanitäre Hilfe und Diplomatie der Schweiz gefragt. Bei der Migration aus wirtschaftlichen Gründen wird vor allem die Arbeitsmarktpolitik der Schweiz eine wichtige Rolle spielen. Die Entwicklungszusammenarbeit hat den Klimawandel bereits als Querschnittsthema integriert.

9 Fazit

Der vorliegende Bericht präsentiert anhand zahlreicher Indikatoren die Klimaentwicklung, die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels sowie Emissionsverminderungs- und Anpassungsmassnahmen in der Schweiz. Dank kontinuierlich verbesserter wissenschaftlicher Informationen über das vergangene, aktuelle und zukünftige Klima und dessen Folgen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft bietet er eine wichtige Grundlage für die Planung und Umsetzung von Massnahmen.

Für viele der hier vorgestellten Bereiche stehen robuste und detaillierte Daten zur Verfügung. Die Entwicklung der inländischen Treibhausgasemissionen basiert auf dem nationalen Treibhausgasinventar des Bundesamts für Umwelt, einer systematisch aufgebauten Datenbank, die eine relativ lange Zeitspanne abdeckt. Meteorologische, klimatologische und hydrologische Daten liegen ebenfalls über einen langen Zeitraum und in hoher Qualität vor. MeteoSchweiz betreibt seit über 150 Jahren ein enges Messnetz als Grundlage für Klima-Analysen. Auch für die verschiedenen Bereiche der Auswirkungen des Klimawandels auf die natürliche Umwelt stehen langjährige Messreihen zur Verfügung, unter anderem zur Entwicklung der Temperatur von Flüssen und Seen, zur Veränderung der Gletscher oder zur Phänologie der Pflanzen.

Der Bericht gibt auch Hinweise auf Lücken in der Beobachtung des Klimawandels in der Schweiz. Es gibt Bereiche, für die nur unzureichende Daten vorhanden sind oder bei denen die Unsicherheiten noch gross sind. Dies ist z. B. bei kleinräumigen oder sehr kleinräumigen oder seltenen Ereignissen wie Gewittern oder Hagel der Fall. Klimainformationen über das Auftreten solcher Ereignisse werden laufend weiterentwickelt. Auch die Klimaszenarien werden periodisch aktualisiert und verbessert. So werden jeweils die neuesten Emissionspfade des IPCC berücksichtigt oder neues Wissen und rechnerische Möglichkeiten in Klimamodelle integriert. Damit hofft man, die zukünftige Entwicklung kleinräumiger Phänomene besser beurteilen und für Anpassungsmassnahmen zugänglich machen zu können.

Für einige Aspekte der Klimawandelauswirkungen auf die natürliche Umwelt steht die quantitative Erfassung

der Entwicklungen noch am Anfang, beispielsweise für Auswirkungen auf die Böden und die Tierwelt. Auch sind die Auswirkungen auf die Gesellschaft oft weder leicht erkenn- noch eindeutig bezifferbar. So ist es bei der Verbreitung der Asiatischen Tigermücke immer noch schwierig, die Bedeutung des Klimawandels im Verhältnis zu anderen Einflussfaktoren zu beurteilen. Auch sind Abschätzungen zu den wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels mit grossen Unsicherheiten verbunden. Während die Wirkung der zur Emissionsverminderung ergriffenen Massnahmen gut überprüfbar ist und systematisch evaluiert wird, ist es bei den Anpassungsmassnahmen vergleichsweise schwierig, die Wirksamkeit zu beurteilen. Dies hängt auch mit der oft erst kurzen Dauer der Projekte und den auf langfristige Wirkung ausgelegten Massnahmen zusammen. Das BAFU arbeitet derzeit an der Erstellung eines Katalogs von Anpassungsindikatoren. Die nächste Version dieses Berichts sollte daher davon profitieren.

Trotz der vorhandenen Lücken bietet dieser Bericht eine sehr breite quantitative Übersicht über den Klimawandel, seine Ursachen und die in der Schweiz umgesetzten Massnahmen. Er ermöglicht eine Beurteilung des bestehenden Handlungsbedarfs und gibt Hinweise auf besonders verletzliche Bereiche. Diese Informationen sind für viele Akteure in Politik, Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft relevant. Deshalb ist vorgesehen, diese Publikation regelmässig – unter Berücksichtigung der neusten Daten und Erkenntnisse – zu aktualisieren und zu ergänzen. In der Zwischenzeit kann die Entwicklung ausgewählter Indikatoren auf den Webseiten von BAFU⁵⁶, MeteoSchweiz⁵⁷ und NCCS⁵⁸ nachverfolgt werden.

56 www.bafu.admin.ch/indikatoren

57 <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-indikatoren.html>

58 www.nccs.ch

10 Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung	NF ₃	Stickstofftrifluorid
ASTRA	Bundesamt für Strassen	OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development)
BABS	Bundesamt für Bevölkerungsschutz		
BAFU	Bundesamt für Umwelt	PFKW	perfluorierte Kohlenwasserstoffe
BAG	Bundesamt für Gesundheit	SBI®	Swiss Bird Index
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt	SBS	Seilbahnen Schweiz
BDM	Biodiversitäts-Monitoring	SBV	Schweizer Bauernverband
BFE	Bundesamt für Energie	SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft
BFS	Bundesamt für Statistik	SF ₆	Schwefelhexafluorid
BIP	Bruttoinlandprodukt	SIF	Staatssekretariat für internationale Finanzfragen
BLV	Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen	SPEI	Standardized Precipitation Evapo-transpiration Index
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft	SRZ	Schutz & Rettung Zürich
BWO	Bundesamt für Wohnungswesen	Swiss TPH	Swiss Tropical and Public Health Institute
CH ₄	Methan	UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change)
CHF	Schweizer Franken	UNO	United Nations Organization
CIPEL	Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman	UVEK	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
CO ₂	Kohlendioxid	WBF	Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente	WMO	Weltorganisation für Meteorologie
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control	WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
EEA	European Environment Agency		
EHS	Emissionshandelssystem		
EnG	Energiegesetz		
ETHL	Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne		
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich		
EU	Europäische Union		
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe		
FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis		
GFCS	Global Framework for Climate Services		
H ₂ O	Wasserdampf		
HFKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe		
IEA	International Energy Agency		
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change)		
IRM	Integrales Risikomanagement		
LFI	Landesforstinventare		
N ₂ O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)		
NAQUA	Nationale Grundwasserbeobachtung		
NCCS	National Center for Climate Services		

11 Literaturverzeichnis

2° Investing Initiative, Wüest Partner 2020: Bridging the gap: Measuring climate goal alignment and climate actions of Swiss financial institutions (Englisch mit deutscher und französischer Zusammenfassung), im Auftrag des BAFU

Abegg B., Agrawala S., Crick F., de Montfalcon, A. 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In Agrawala, A. (Ed.), *Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, pp. 25–60.

Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S., Traub B., Vidondo B. 2014: Schweizerisches Landesforstinventar - Ergebnistabelle Nr. 123807: Waldfläche. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. <https://doi.org/10.21258/1025176>

Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a: Ozon und Sommersmog: Klimawandel gefährdet heutige Erfolge. *Swiss Academies Factsheets*. 11(5), 1–6.

Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016b: Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. *Swiss Academies Reports* 11 (5).

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.

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

BAFU 2012b: Auswirkungen der Klimaänderung 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 2012c: Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat «Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen», Postulat 10.353 von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2014a: Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Wissen*, Nr. 1404: 116 S.

BAFU 2016: Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Zustand* Nr. 1629: 108 S.

BAFU 2017a: Impulse für eine klimaangepasste Schweiz. Erkenntnisse aus 31 Pilotprojekten zur Anpassung an den Klimawandel. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Info* Nr. 1703: 96 S.

BAFU 2017b: Synthesebericht: Volkswirtschaftliche, Beurteilung der klimapolitischen Massnahmen nach 2020. Bundesamt für Umwelt, Bern. 90 Seiten

BAFU 2018a: Switzerland's seventh national communication and third biennial report under the UNFCCC, Swiss Federal Office for the Environment, Bern, Switzerland, 1 January 2018.

BAFU 2018b: Klimapolitik der Schweiz. Umsetzung des Übereinkommens von Paris. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2019a: Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA. Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Zustand* Nr. 1901, 138 S.

BAFU 2019b: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt.

BAFU 2019c: Daten der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA.

BAFU 2019d: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, Sektion Lebensraum Gewässer.

BAFU 2019e: Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung. 5. aktualisierte Ausgabe, Januar 2019. Bundesamt für Umwelt.

BAFU 2019f: Fischereistatistik. Bundesamt für Umwelt. Sektion Lebensraum Gewässer.

<https://www.fischereistatistik.ch/de/home>

[Stand: 17.05.2019]

BAFU 2019g: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien.

BAFU 2019h: Daten von Abteilung Klima des Bundesamts für Umwelt.

BAFU 2019i: Karte wurde im Auftrag des Bundesamts für Umwelt erstellt.

BAFU 2020a: Treibhausgasinventar der Schweiz, Bundesamt für Umwelt. Submission 2020

BAFU 2020b: Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013 – 2020). Bundesamt für Umwelt, Bern. Letzte Aktualisierung April 2020.

BAFU 2020c: Auswirkungen des Klimawandels im Ausland – Risiken und Chancen für die Schweiz. Zusammenfassung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Info Nr. 2002: 18 S.

BAFU et al. 2019: Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909: 92 S.

BAFU, ARE 2018: Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bundesamt für Umwelt. Bern.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-in-staedten.html> [Stand: 12.06.2019]

BAFU, MeteoSchweiz 2019: Daten bereitgestellt durch die Abteilung Hydrologie.

BAFU, WSL 2007: Ereignisanalysen Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Umwelt-Wissen n 0707, Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAG 2019a: Daten bereitgestellt durch Ekkehardt Altpeter.

BAG 2019b: Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME). <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/fsme.html> [Stand: 14.06.2019]

BAG 2019c: Daten bereitgestellt durch das BAG.

Barbet-Massin M., Thuiller W., Jiguet F. 2012: The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. *Glob Change Biol* 18: 881–890.

BAZL 2019: Datenvorabzug zum internationalen Flugverkehr 2018 im Rahmen des Treibhausgasinventars.

Begert M, Frei C. 2018. Long-term area-mean temperature series for Switzerland – Combining homogenized station data and high resolution grid data. *International Journal of Climatology*, 38: 2792–2807. <https://doi.org/10.1002/joc.5460>

Begert M, Stöckli R, Croci-Maspoli M. 2018: Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung. *Fachbericht MeteoSchweiz*, 274, 23 pp.

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

Bernet D.B., Sturny R.A., Berger C., Kipfer A., Prasuhn V., Staub B., Stoll S., Thomi L. 2018: Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe. *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz*, Nr. 42, Bern, 95 S.

BFE 2019a: Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge 2018. 23. Berichterstattung im Rahmen der Energieeffizienzverordnung. Bundesamt für Energie. Bern.

BFE 2019b: Datenlieferung von BFE, Jährliche Veränderung des Bestandes EBF, Daten produziert von Wüest Partner AG.

BFE 2019c: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2018. Bundesamt für Energie. September 2019.

BFE 2019d: Energiestrategie 2050 – Monitoring-Bericht 2019 (ausführliche Fassung). Bundesamt für Energie, Bern.

BFE 2019e: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018. Bundesamt für Energie. Bern.

BFS 2011: Wahrnehmung von Umweltqualität und Umweltverhalten. Ergebnisse der Omnibus-Erhebung 2011.

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen.assetdetail.350745.html> [Stand: 29.05.2019]

BFS 2015: Omnibus-Erhebung 2015: Umweltqualität und Umweltverhalten. Wahrnehmung der Umwelt und Verhalten der Bevölkerung meist im Einklang.

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen.assetdetail.415316.html> [Stand: 29.05.2019]

BFS 2019: Energiebereich. Heizsystem und Energieträger.

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/gebaeude/energiebereich.html> [Stand: 25.09.2019]

BFS 2020a: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Produktionskonto nach Wirtschaftssektoren, Bundesamt für Statistik. Auszug Januar 2020

BFS 2020b: Bevölkerungsstatistik der Schweiz, ständige Wohnbevölkerung, Bundesamt für Statistik. Auszug Januar 2020

BFS 2020c: Statistik des öffentlichen Verkehrs, Gütertransportstatistik, Strassenfahrzeugbestand, Leistungen des Personenverkehrs, Bundesamt für Statistik. Auszug Januar 2020

BFS, Swiss TPH 2019: BFS ständige Wohnbevölkerung in der Schweiz, Swiss TPH. Daten bereitgestellt durch Frau Martina Ragetti.

Bigler C., Bräker O. U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. 2006: Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland Ecosystems, 9: 330.

<https://doi.org/10.1007/s10021-005-0126-2>.

Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) 2019: Daten bereitgestellt durch Hintermann & Weber AG.

BLW 2011: Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft.

<https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/umwelt/klima.html> [Stand: 03.05.2019]

BLW 2016: Faktenblatt zur Ernährungssicherheit, Nr. 1: Selbstversorgungsgrad.

Bowler D. E., Mant R., Orr H., Hannah D. M., Pullin A. S. 2012: What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? Environmental Evidence 1, S. 9.

Braun S., Hopf S., de Witte L. 2018: Wie geht es unserem Wald? 34 Jahre Walddauerbeobachtung. IAP, Schönenbuch.

Braun S., Remund J., Rihm B. 2015: Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 166: 361 – 371.

CH2018 2018: CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp.

CH2018-Webatlas 2018: Webatlas der Klimaszenarien für die Schweiz CH2018, Hrsg. NCCS. 2018. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html> [Stand: 25.07.2019]

Chaix O., Wehse H., Gander Y., Zahner S. 2016: Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Bern.

Chitimia-Dobler L., Schaper S., Rieß R., Bitterwolf K., Frangoulidis D., Bestehorn M., Springer A., Oehme R., Drehmann M., Lindau A., Mackenstedt U., Strube Ch., Dobler G. 2019: Imported Hyalomma ticks in Germany in 2018. Parasites & Vectors 12: 134. doi: 10.1186/s13071-019-3380-4.

CIPEL 2018a: Température moyenne annuelle de la couche 0-10m et du fond du lac Léman. [http://cipel.comoe.fr/pages/principale/principale.aspx?ressource=lot de données12237240921413456662](http://cipel.comoe.fr/pages/principale/principale.aspx?ressource=lot%20de%20donnees12237240921413456662) [Stand: 07.05.2019]

CIPEL 2018b: Suivi du Phytoplancton du Léman. Daten bereitgestellt durch das CIPEL.

Das Gebäudeprogramm 2018: Jahresbericht 2018. Im Auftrag des Bundesamts für Energie.

Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I. 2010: Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps: seasonal rhythm, interannual variations and trends over several decades. Geographica Helvetica 65: 135–145.

Dobbertin M. 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. Eur J For Res 124: 319–333.

ECDC 2019: European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. Tick maps. <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps> [Stand: 14.06.2019]

EEA 2019: Trends and projections in Europe 2019. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets. European Environment Agency. EEA Report No 15/2019.

ETHL 2017: Assessing the impacts of climate change for Switzerland, Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Lausanne.

ETHZ 1994, 2007: Der Schweizer Umweltsurvey. <http://www.socio.ethz.ch/forschung/umweltsurvey.html> [Stand: 29.05.2019]

Etzold S., Wunder J., Braun S., Rohner B., Bigler C., Abegg M., Rigling A. 2016: Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends. In: Plüss, A. R., Augustin, S., Brang, P. (Red.) 2016. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern Stuttgart, Wien. 447 S.

Europäische Union 2016: Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change, by JSR, Ispra, Italy.

Farinotti D., Huss M., Fürst J. J., Landmann J., Machguth H., Maussion F., Pandit A. 2019: A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. Nature Geoscience, 12(3), 168.

- Fischer M., Spehn E. 2016: Biodiversität und Ökosystemleistungen. In: Akademien der Wissenschaften Schweiz. Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11(5).
- Flacio E., Engeler, L., Tonolla M., Müller P. 2016: Spread and establishment of *Aedes albopictus* in southern Switzerland between 2003 and 2014: an analysis of oviposition data and weather conditions. *Parasites & Vectors* 9:304. doi: 10.1186/s13071-016-1577-3.
- Flacio E., Lüthy P., Patocchi N., Guidotti F., Tonolla M., Peduzzi R. 2004: Primo ritrovamento di *Aedes albopictus* in Svizzera. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali* 92:141–142.
- Frehner M., Brang P., Kaufmann G., Küchli C. 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel, WSL Ber. 66: 43 S.
- Frischknecht R., Nathani C., Alig M., Stolz P., Tschümperlin L., Hellmüller P. 2018: Umwelt-Fussabdrücke der Schweiz. Zeitlicher Verlauf 1996 – 2015. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1811: 131 S.
- Gehrig R., König N., Scherrer S. 2018: Städtische Wärmeinsel in der Schweiz – Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten, Fachbericht MeteoSchweiz, 273, 61 pp.
- GLAMOS 2018a: Swiss Glacier Mass Balance, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/massbalance.2018.r2018.
- GLAMOS 2018b: Swiss Glacier Length Change, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/lengthchange.2018.r2018.
- Gonseth Y., Wohlgemuth T., Sansonnens B., Buttler A. 2001: Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard. Umwelt Materialien Nr. 137., 48 p. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft. Bern.
- Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fabrlander C. 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 135(13 – 14), 200 – 205.
- Güsewell S., Pietragalla B., Gehrig R., Furrer R. 2018: Representativeness of stations and reliability of data in the Swiss Phenology Network, Technical Report MeteoSwiss, 267, 100 pp.
- Herold T. 2019: Temperaturmonitoring Oberflächengewässer Schweiz (Leitartikel). *Aqua & Gas* 04-2019: 36 – 39.
- Herold T., Schaffner M., Chaix O. 2018: Temperaturmonitoring der Fließgewässer, Anpassung an zukünftige Herausforderungen. *Aqua & Gas* 12-2018: 54 – 59.
- Huss M., Funk M., Ohmura A. 2009: Strong Alpine glacier melt in the 1940s due to enhanced solar radiation. *Geophysical Research Letters*, 36(23).
- IEA 2017: Energy Technology Perspectives 2017. Paris.
- IEA 2019: CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights 2019, Paris.
- Indermühle M., Raetz P., Volz R. 2005: LOTHAR – Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 145 S.
- Infras 2018: Auswirkungen des Klimawandels im Ausland. Risiken und Chancen für die Schweiz.
- Infras, Egli Engineering 2015: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.

IPCC 2013/2014: Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2016.

IPCC 2014a: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC 2014b: Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers.

IPCC 2018: Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]

Kahn M. E., Mohaddes K., Ng. R., Pesaran M. H., Raissi M., Yang J.-C. 2019: Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis, National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 26167. DOI 10.3386/w26167.

Keller V., Ayé R., Müller W., Spaar R., Zbinden N. 2010: Die prioritären Vogelarten der Schweiz: Revision 2010. Ornithol.Beob. 107: 265–285.

Klein T., Holzkämper A., Calanca P., Seppelt R., Fuhrer J. 2013: Adapting agricultural land management to climate change: a regional multi-objective optimization approach. *Landscape ecology*, 28(10), 2029 – 2047.

Knaus P., Antoniazza S., Wechsler S., Guélat J., Kéry M., Strebel N., Sattler T. 2018: Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016. Verbreitung und Bestandsentwicklung der Vögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.

Knaus P., Sattler T., Schmid H., Strebel N., Volet B. 2019: Zustand der Vogelwelt in der Schweiz: Bericht 2019. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.

Kohli A., Steinemann M., Guyer M., Füssler J. 2018: Relevanz des Klimawandels für die Schweizer Sicherheitspolitik. Herausforderungen und mögliche Handlungsfelder. Schlussbericht von INFRAS vom 20. Februar 2018, im Auftrag des Eidgenössischen Departements für auswärtige Angelegenheiten.

Köllner P., Gross C., Lerch J., Nauser M. 2017: Klimabedingte Risiken und Chancen. Eine schweizweite Synthese. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1706: 148 S.

König U., Abegg B. 1997: Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps, *Journal of Sustainable Tourism*, 5:1, 46 – 58, DOI: 10.1080/09669589708667275

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.

Landis F., Hertig V., Haefeli U., Balthasar A., Raible C. 2017: Schlussbericht Evaluation der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel: Modul A. Schlussbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Interface Politikstudien Forschung Beratung und Oeschger Centre for Climate Change Research, Luzern/Bern.

- Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmli W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schwein-gruber F., Theurillat J.-P., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. 2010: Flora indicativa = Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps: ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Bern.
- Léger E., Vourc'h G., Vital L., Chevillon Ch., McCoy K. D. 2013: Changing distribution of ticks : causes and consequences. *Experimental and Applied Acarology* 59: 219 – 244. doi: 10.1007/s10493-012-9615-0
- Maggini R., Lehmann A., Zbinden N., Zimmermann N. E., Bolliger J., Schröder B., Foppen R., Schmid H., Beniston M., Jenni L. 2014: Assessing species vulnerability to climate and land use change. The case of the Swiss breeding birds. *Diversity and Distribution* 20: 708–719.
- Maison de la Rivière 2012: Rapport Clim-arbres. La Maison de la Rivière, hépia Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, S. 173.
- MeteoSchweiz 2018: Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- MeteoSchweiz 2020a: Daten und Grafiken bereitgestellt durch MeteoSchweiz.
- MeteoSchweiz 2020b: Klimareport 2019. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 106 S.
- Møller A. P., Fiedler W., Berthold P. (Hrsg.) 2010: Effects of climate change on birds. Oxford Biology. Oxford University Press, Oxford [etc.].
- Müller P., Suter T., Engeler L., Vavassori L., Guidi V., Flacio E., Tonolla M. 2018: Nationales Programm zur Überwachung der asiatischen Tigermücke. Bericht 2016. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. 24 S.
- NCCS 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2.
- Neteler M., Metz M., Rocchini D., Rizzoli A., Flacio E., Engeler L., Guidi V., Lüthy P., Tonolla M. 2013: Is Switzerland suitable for the invasion of *Aedes albopictus*? *PLoS One* 8:e82090. doi: 10.1371/journal.pone.0082090
- North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern. 77 S.
- OECD 2015: The Economic Consequences of Climate Change, OECD Publishing, Paris.
- OECD 2017: Growth, Investment and the Low-Carbon Transition, OECD Publishing, Paris.
- OECD 2019: Trade in Embodied CO₂ Database (TECO₂). https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2019#
www.oecd.org/sti/ind/carbon dioxide emission embodied in international trade.htm [Stand: 06.05.2019]
- Ogden N. H., Lindsay L. R. 2016: Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different. *Trends in Parasitology* 32: 646–656. doi: 10.1016/j.pt.2016.04.015
- Papadopoulos B., Humair P. F., Aeschlimann A., Vau-cher C., Buttiker W. 2002: Ticks on birds in Switzerland. *A. Acarologia* 42: 3 – 19.
- PERMOS 2019: Daten bereitgestellt durch Frau Jean-nette Noetzli. www.permos.ch [Stand: 05.12.2019]
- Perroud M., 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.

Pluess A.R., Augustin S., Brang P. 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien, Bern, Stuttgart. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Haupt, S. 447.

Prasuhn V., Doppler T., Spycher S., Stamm. C. 2018: Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung. *Agrarforschung Schweiz* 9(2), 44 – 51.

Prognos, TEP, Infrac 2019a: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken. Im Auftrag des Bundesamts für Energie.

Prognos, TEP, Infrac 2019b: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2018 nach Bestimmungsfaktoren. Im Auftrag des Bundesamts für Energie. Bern.

Ragettli M. S., Rösli M. 2019: Hitzeaktionspläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen – Erfahrungen aus der Schweiz. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*. 1 – 7.

Ragettli M. S., Vicedo-Cabrera A. M., Schindler C., Rösli M. 2017: Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental Research* 10; 158: 703 – 709.

Ragettli M.S., Vicedo-Cabrera A.M., Flückiger B. et al. 2019: Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. *Environ Health* 18: 66.
<https://doi.org/10.1186/s12940-019-0507-1>

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., Žygu-tiene 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

Remund J., Augustin S. 2015: Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen* 166: 352–360.

Robine J.-M., Cheung S. L. K., Le Roy S., Van Oyen H., Griffiths C., Michel J.-P., Herrmann F. R. 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*. 331(2), 171 – 178.

Rutherford J. C., Marsh N. A., Davis P. M., Bunn S. E. 2004: Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool? *Marine and Freshwater Research* 55: 737–748.

SBS 2018a: Daten bereitgestellt durch Herr Beat Wolfensberger.

SBS 2018b: Fakten und Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche.
<https://www.seilbahnen.org/de/Branche/Statistiken/Fakten-Zahlen> [Stand: 13.05.2019]

SBV 2019: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, 2018. Schweizer Bauern Verband, Brugg.

Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., Knutti R. 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121,2626–2637, doi:10.1002/2015JD024634

Scherrer, S.C., Begert, M. 2019: Effects of large-scale atmospheric flow and sunshine duration on the evolution of minimum and maximum temperature in Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*.
<https://doi.org/10.1007/s00704-019-02823-x>

Schmid M., Dami J., Bouffard D. 2019: Beobachtung der Seetemperaturen. *Aqua & Gas* (in press).

Schweizerische Eidgenossenschaft 2012: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Bern, 64 S.

Schweizerische Eidgenossenschaft 2014: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. 100 S.

Schweizerische Eidgenossenschaft 2017: Tourismusstrategie des Bundes. Bern, 15. November 2017.

<https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/seco/nsb-news.msg-id-68814.html> [Stand: 2.10.2019]

Schweizerische Eidgenossenschaft 2020: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020–2025. Bern, 164 S.

Scripps 2019: CO₂ Beobachtungen des Mauna Loa Observatory Hawaii im Rahmen des Scripps CO₂ Programms. DOI: <http://doi.org/10.6075/J08W3BHW>. Website (Stand 25.07.2019): http://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record, beschrieben in: C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Atmospheric CO₂ and 13CO₂ exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications, pages 83–113, in „A History of Atmospheric CO₂ and its effects on Plants, Animals, and Ecosystems“, editors, Ehleringer J. R., Cerling T. E., Dearing M. D., Springer Verlag, New York, 2005.

SECO 2020: Quartalsdaten Bruttoinlandprodukt (BIP) gemäss Produktionsansatz, unbereinigt, Stand Januar 2020

Shlomit P. 2015: Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370: 20130561. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0561>

Stadt Baden 2005: Klimawanderungen. Klima und Wald früher – heute – morgen. http://www.klimawanderungen.ch/downloads/Klimadossier_Erwachsene.pdf [Stand: 11.04.2019]

Stadt Zürich 2019: Daten bereitgestellt durch Herr Olivier Köster. <https://www.stadt-zuerich.ch/wasserversorgung> [Stand: 13.05.2019]

Steinbauer M. J., Grytnes J.-A., Jurasinski G., Kulonen A., Lenoir J., Pauli H., Rixen C., Winkler M., Bardy-Durchhalter M., Barni E., Bjorkman A. D., Breiner F. T., Burg S., Czortek P., Dawes M. A., Delimat A., Dullinger S., Erschbamer B., Felde V. A., Fernández-Arberas O., Fossheim K. F., Gómez-García D., Georges D., Grindrud E. T., Haider S., Haugum S. V., Henriksen H., Herreros M. J., Jaroszewicz B., Jaroszynska F., Kanka R., Kapfer J., Klanderud K., Kühn I., Lamprecht A., Matteodo M., di Cella U. M., Normand S., Odland A., Olsen S. L., Palacio S., Petey M., Piscová V., Sedlakova B., Steinbauer K., Stöckli V., Svenning J.-C., Teppa G., Theurillat J.-P., Vittoz P., Woodin S. J., Zimmermann N. E., Wipf S. 2018: Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming, *Nature*, 2018, 556, 231 – 234.

Stern N. 2006: Stern Review on the Economics of Climate Change, HM Treasury, London.

Straile D., Livingstone D. M., Weyhenmeyer G. A., George D. G. 2003: 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.

Swiss TPH 2019: Daten bereitgestellt durch H. Pie Müller.

Uhlmann B., Goyette S., Beniston M. 2009: Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shifts in temperature, precipitation and humidity under conditions of climate change. *Royal Meteorological Society. International Journal of climatology*, 29: 1048–1055. DOI: 10.1002/joc.1786

UNFCCC 2014: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention. Decision 24/CP.19 (FCCC/CP/2013/10/Add.3)

Universität Hohenheim 2019: Tropische Zecken: Neu eingewanderte Art überwintert erstmals in Deutschland [Pressemeldung]. 11.06.2019.

https://www.uni-hohenheim.de/pressemitteilung?tx_ttnews%5Btt_news%5D=43734&cHash=5fd3c0e-9da33d842f4ee127beaf7b078 [Stand: 24.06.2019]

Universität Konstanz 2019: Daten bereitgestellt durch Dr. Dietmar Streile.

Vicente-Serrano S. M., Begueña S., López-Moreno J. I. 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI, *J. Clim.*, 23: 1696–1718.

Vitasse Y., Bottero A., Rebetez M., Conedera M., Augustin S., Brang P., Tinner W. 2019: What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research* 138: 547–560.

Vitasse Y., Schneider L., Rixen C., Christen D., Rebetez M. 2018: Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 60 – 69.

Vöhringer F., Vielle M., Thalmann P., Frehner A., Knoke W., Stocker D., Thurm B. 2019: Cost and benefits of climate change in Switzerland. *Climate Change Economics*, Vol. 10, No. 02, 1 – 34.

Wehse H., Chaix O., Gander Y., Birrer A., Fritsch M., Meylan B., Zahner S. 2017: Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen. Ein Vorgehen gestützt auf bestehende Planungsinstrumente. Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt. Bern.

WMO 2007: The role of climatological normals in a changing climate, WMO/TD-No. 1377 (2007). Available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMPNo61.pdf> [Stand: 25.07.2019]

WMO 2015: Seventeenth World Meteorological Congress (WMO-No. 1157). Geneva.

Wohlgemuth T. (Red.) 2006: Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006: 71 S.

WSL 2019a: Technischer Schnee. <https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/technischer-schnee.html> [Stand: 13.05.2019]

WSL 2019b: Datenherhebung zu Hochwasser, Murgang und Rutschung (seit 1972) und zu Steinschlag und Felssturz (seit 2002), im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.

Zahner S., Guhl F. 2017: Haushälterischer Umgang mit Wasser-Ressourcen. *Aqua & Gas*, Nr 6. www.bafu.admin.ch/wasserressourcenmanagement [Stand: 12.04.2019]

Zbinden N., Maggini R., Keller V., Schmid H. 2012: Swiss Bird Index SBI Climate Change. Schweizerische Vogelwarte Sempach.

Zekollari H., Huss M., Farinotti, D. 2019: Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Cryosphere*, 13(4), 1125 – 1146.

Zemp M., Frey H., Garnert-Roer I., Nussbaumer S. U., Hoelzle M., Paul F., ... Baroni C. 2015: Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*.

Zubler E.M., Scherrer S.C., Croci-Maspoli M., et al. 2014: Climatic Change (2014) 123: 255. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1041-8>.