

Klimabedingte Risiken und Chancen

Eine schweizweite Synthese



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Klimabedingte Risiken und Chancen

Eine schweizweite Synthese

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Pamela Köllner (BAFU, Projektleitung), Carla Gross (BAFU)

Juliette Lerch (BAFU), Markus Nauser (dialog:umwelt GmbH)

Projektoberleitung

Christine Hofmann (BAFU), Andrea Burkhardt (BAFU), Josef Eberli (BAFU), Stephan Müller (BAFU), Rolf Manser (BAFU), Hans Romang (BAFU)

Zitierung

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.

Layout

Cavetti AG, medien. digital und gedruckt.

Grafik

Zoï Environment Network

Titelbild

Hintergrund: www.123RF.com

Wegweiser: C. Hurni

Fotomontage: M. Libert

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

www.bundespublikationen.admin.ch

Art.-Nr.: 810.400.115d

www.bafu.admin.ch/uw-1706-d

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2017

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	7	8.2	Zu- oder Abnahme der Sachschäden durch Veränderung der Sturmaktivität	67
Vorwort	9	8.3	Zu- oder Abnahme der Schäden durch Hagel	69
Zusammenfassung	11	9	Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität	72
1 Einleitung	17	9.1	Beeinträchtigung der Wasserqualität	74
1.1 Kontext	17	9.2	Beeinträchtigung der Bodenqualität	75
1.2 Gliederung des Berichts und Erläuterungen zu den Abbildungen	18	9.3	Beeinträchtigung der Luftqualität	76
2 Identifikation von Risiken und Chancen	20	10	Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft	77
3 Grössere Hitzebelastung	23	10.1	Veränderungen in ausgewählten Ökosystemen	79
3.1 Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit	25	10.2	Veränderungen, die alle Ökosysteme betreffen	82
3.2 Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit	28	11	Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten	85
3.3 Zunahme des Kühlenergiebedarfs	30	11.1	Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit	87
4 Zunehmende Trockenheit	32	11.2	Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren	90
4.1 Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft	34	11.3	Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft	91
4.2 Zunahme der Waldbrandgefahr	37	11.4	Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen	93
4.3 Zunahme der Wasserknappheit	39	12	Verbesserung von Standortbedingungen	96
4.4 Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion	42	12.1	Abnahme des Heizenergiebedarfs	98
5 Steigende Schneefallgrenze	43	12.2	Zunahme der Erträge im Sommertourismus	99
5.1 Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus	46	12.3	Zunahme der Erträge in der Landwirtschaft	102
5.2 Zunahme der winterlichen Energieproduktion	47	13	Wildcards	104
5.3 Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten	49	14	Klimabedingte Auswirkungen im Ausland	106
6 Steigendes Hochwasserrisiko	52	15	Umgang mit Unsicherheiten	109
6.1 Zunahme der Personenschäden	55	A	Anhang	112
6.2 Zunahme der Sachschäden	56	A1	Vollständige Liste aller klimabedingten Risiken und Chancen	112
7 Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen	59	A2	Methodik	121
7.1 Zunahme der Personenschäden	62	A3	Verzeichnisse	127
7.2 Zunahme der Sachschäden	62			
8 Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität	65			
8.1 Zu- oder Abnahme der Personenschäden durch Veränderung der Sturmaktivität	67			

Abstracts

The present report identifies and prioritises climate-related risks and opportunities for Switzerland until 2060. The results from eight regional case studies conducted with the participation of numerous experts from science, industry and administration have been merged into a Switzerland-wide synthesis and supplemented. On the one hand, they serve the review and further development of the Confederation's adaptation strategy. On the other hand, the cantons and regions can use the results, along with the methodology used, to develop their own strategy and adaptation planning.

Der vorliegende Bericht identifiziert und priorisiert die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz bis 2060. Die Ergebnisse von acht regionalen Fallstudien wurden unter Mitwirkung zahlreicher Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung in einer schweizweiten Synthese zusammengeführt und ergänzt. Sie dienen einerseits der Überprüfung und Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie des Bundes. Andererseits können sie, zusammen mit der verwendeten Methodik, von Kantonen und Regionen genutzt werden, um eine eigene Strategie und Anpassungsplanung zu entwickeln.

Le présent rapport répertorie et priorise les risques et opportunités liés au climat susceptibles de se présenter en Suisse d'ici 2060. Établi avec le concours de nombreux experts issus de l'administration ainsi que des milieux scientifiques et économiques, il regroupe et complète, dans une synthèse à l'échelle de la Suisse, les résultats de huit études de cas régionales. Il sert non seulement à vérifier et à poursuivre le développement de la stratégie d'adaptation de la Confédération, mais peut aussi être utilisé par les cantons et les régions pour élaborer leur propre stratégie et leur propre planification en matière d'adaptation.

Il presente rapporto identifica i rischi e le opportunità legati ai cambiamenti climatici per la Svizzera e fissa le priorità da qui al 2060. A tal fine sono stati riuniti in una sintesi nazionale e completati con la partecipazione di numerosi esperti del mondo scientifico, dell'economia e dell'amministrazione i risultati di otto casi di studio regionali. Da un lato tali risultati servono a verificare e sviluppare ulteriormente la strategia di adattamento della Confederazione e dall'altro i Cantoni e le regioni possono utilizzarli, unitamente alla metodologia adottata, per elaborare la loro strategia e pianificare il loro adattamento.

Keywords:

Climate change, impacts, adaptation, risk analysis, risks, opportunities

Stichwörter:

Klimawandel, Auswirkungen, Anpassung, Risikoanalyse, Risiken, Chancen

Mots-clés :

changements climatiques, impacts, adaptation, analyse des risques, risques, opportunités

Parole chiave:

cambiamenti climatici, impatto, adattamento, analisi dei rischi, rischi, opportunità

Vorwort

Das CO₂-Gesetz vom 23. Dezember 2011 weist dem Bund die Aufgabe zu, Massnahmen zur Vermeidung und Bewältigung von Schäden zu koordinieren, die sich als Folge der erhöhten Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre ergeben können. Gleichzeitig soll er für die Erarbeitung und die Beschaffung von Grundlagen sorgen, die notwendig sind, um diese Massnahmen zu ergreifen.

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer umfangreichen Risikoanalyse, die einen wichtigen Beitrag an diese Aufgabenstellung leistet. Er beruht auf acht Fallstudien, die untersucht haben, mit welchen Konsequenzen zu rechnen ist, wenn sich der weltweite Anstieg der Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten in vergleichbarem Umfang fortsetzt wie bisher. Die Resultate dieser Fallstudien wurden auf alle Landesteile übertragen und als Grundlage genutzt, um die prioritären klimabedingten Risiken und Chancen für unser Land zu bestimmen. Sie geben Hinweise für die Weiterentwicklung der ersten, 2012 verabschiedeten Anpassungsstrategie des Bundesrates und erlauben es, die Anstrengungen noch gezielter auf jene Bereiche auszurichten, wo der grösste Nutzen zu erwarten ist. Indem zudem eine Methodik zur Verfügung gestellt wird und erste Handlungsoptionen aufgezeigt werden, können Kantone und Regionen nun ihre eigene Strategie und Anpassungsplanung weiterentwickeln.

Der Bericht stützt sich auf die besten heute verfügbaren Kenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz. Er anerkennt, dass unser Wissen über das Klima der Zukunft und seine Bedeutung für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft lückenhaft ist. Gleichzeitig wissen wir, dass sehr viel auf dem Spiel steht: für die menschliche Gesundheit, für gewisse Branchen, aber auch für die natürlichen Lebensräume und die Artenvielfalt der Schweiz. In dieser Situation untätig zu bleiben, wäre verantwortungslos. Wir müssen nicht nur den bestehenden und sich abzeichnenden Risiken des Klimawandels Rechnung tragen, sondern sollten auch die Chancen nutzen, die sich bieten.

Rund 360 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung haben an der Erarbeitung der vorliegenden Risikoanalyse mitgewirkt. Sie haben ihr Fachwissen in die Methodenentwicklung eingebracht, an Workshops mitgewirkt, Stellung zu Berichtsentwürfen genommen oder zu spezifischen Fragestellungen Auskunft gegeben. Dafür möchte ich ihnen danken! Es ist dieser Geist der Offenheit und Kooperationsbereitschaft über fachliche und institutionelle Grenzen hinweg, den es braucht, damit die Schweiz gerüstet ist für die Herausforderungen, die der Klimawandel mit sich bringt.

Marc Chardonens, Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Zusammenfassung

Das Klima in der Schweiz hat sich in den vergangenen Jahrzehnten verändert. Die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind bereits heute spürbar. Sie dürften mit fortschreitendem Klimawandel immer ausgeprägter werden.

Um einen Beitrag an die Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs zu leisten und so die gefährlichsten Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden, verfolgt die Schweiz eine aktive Politik zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Komplementär dazu hat der Bundesrat seine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, bestehend aus zwei Teilen (BAFU 2012b, BAFU 2014a), verabschiedet. Deren Ziel ist es, bestehende Risiken zu reduzieren und zukünftige, unvermeidbare Risiken zu minimieren. Zudem sollen damit die Chancen des Klimawandels genutzt und die Anpassungsfähigkeit der Schweiz gesteigert werden.

Der Klimawandel betrifft Natur, Gesellschaft und Wirtschaft auf vielfältige Weise. Um die beschränkt verfügbaren Mittel effizient und effektiv einzusetzen, müssen Prioritäten gesetzt werden. Das erlaubt es Bund, Kantonen, Gemeinden und weiteren Betroffenen, Anpassungsmassnahmen koordiniert zu realisieren.

Als Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die klimabedingten Risiken und Chancen schweizweit analysiert. Acht Fallstudien in den Kantonen Aargau, Basel-Stadt, Freiburg, Genf, Graubünden, Jura, Tessin und Uri wurden durchgeführt, welche die sechs Grossräume Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen, Südschweiz sowie grosse Agglomerationen abdecken. Dabei wurden einerseits die Risiken und Chancen unter heutigen klimatischen Bedingungen bestimmt. Andererseits wurde deren Grösse um 2060 (Referenzperiode 2045–2074) mithilfe eines Klimaszenarios, das von einem starken Klimawandel ausgeht, abgeschätzt.

Für die Fallstudien wurden keine neuen Klimaprojektionen oder Modellrechnungen erstellt. Die Ergebnisse stützen sich auf verfügbare Forschungsergebnisse und Publikationen, die in einem einheitlichen, sektorüber-

greifenden Rahmen zusammengeführt wurden.¹ Die Erarbeitung der Fallstudien umfasste einen breiten Expertenprozess, in den schweizweit rund 360 Fachleute einbezogen waren.

Die vorliegende Synthese der klimabedingten Risiken und Chancen basiert auf diesen Fallstudien. Ergänzend wurden für die Synthese weitere Befunde aus der wissenschaftlichen Literatur sowie zusätzliches Expertenwissen berücksichtigt. Das Resultat ist eine umfassende Risiko- und Chancenliste (siehe Anhang A1) sowie die Identifizierung der prioritären klimabedingten Risiken und Chancen der Schweiz.

Abbildung 1 zeigt die 12 Herausforderungen² und rund 30 prioritäre Risiken und Chancen, welche die «Risikolandschaft» der Schweiz bei der Anpassung an den Klimawandel bilden. Grob zusammengefasst können aus der Abbildung folgende Schlüsse gezogen werden:

- Es bestehen deutlich mehr prioritäre Risiken (linke Spalte) als Chancen (rechte Spalte).
- Mehrere Herausforderungen (insbes. Hitze, Naturgefahren, Krankheiten) betreffen die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung.
- Für Land- und Energiewirtschaft sowie Tourismus ergeben sich sowohl Risiken als auch Chancen. Auswirkungen des Klimawandels im Ausland auf Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz müssen ebenso beachtet werden.
- Bedeutende Risiken sowie einige Chancen bieten sich für die Biodiversität. Gewisse Arten und Lebensräume gehören zu den Verlierern, andere zu den Gewinnern des Klimawandels.

1 Der Anhang A2 sowie der separate Methodenbericht (Holthausen et al. 2013a) dokumentieren im Detail, wie die klimabedingten Risiken und Chancen identifiziert und bewertet wurden.

2 Zur Bedeutung des Begriffs «Herausforderung» siehe Kapitel 2 in der Strategie Anpassung an den Klimawandel des Bundesrates (BAFU 2012b)

Risiken

Grössere Hitzebelastung

- Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit
- Leistungseinbussen bei der Arbeit
- Zunahme des Kühlenergiebedarfs



Zunehmende Trockenheit

- Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- Waldbrandgefahr
- Wasserknappheit
- Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion



Steigende Schneefallgrenze

- Ertragseinbussen beim Wintertourismus



Steigendes Hochwasserrisiko

- Personenschäden
- Sachschäden



Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen

- Personenschäden
- Sachschäden



Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität



Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft

- Beeinträchtigung der Biodiversität



Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten

- Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit
- Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren
- Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- Beeinträchtigung von Waldleistungen



Wildcards

- Schwer abschätzbare Risiken



Klimabedingte Auswirkungen im Ausland

- Indirekte Risiken



Risiken oder Chancen

Mehrdeutige Auswirkungen: Konsequenzen (noch) nicht eindeutig positiv oder negativ



Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität

- Personenschäden
- Sturmschäden
- Hagelschäden

Positive sowie negative Auswirkungen

Positive sowie negative Auswirkungen

Positive sowie negative Auswirkungen

Chancen



Verbesserung von Standortbedingungen

- Abnahme des Heizenergiebedarfs
- Zunahme der Erträge im Sommertourismus
- Zunahme der Erträge in der Landwirtschaft



- Zunahme der winterlichen Energieproduktion
- Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten



- Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume



- Indirekte Chancen

Abbildung 1

Prioritäre, klimabedingte Risiken und Chancen für die Schweiz

Zwölf Piktogramme symbolisieren die Herausforderungen des Klimawandels. Sie sind nach Risiken (linke, rote Spalte) und Chancen (rechte, grüne Spalte) geordnet. Bei einer Herausforderung (Sturm- und Hagelaktivität) ist im heutigen Zeitpunkt noch offen, ob damit eher Risiken oder Chancen verbunden sind (mittlere, graue Spalte). Den Herausforderungen zugeordnet sind die prioritären Risiken (rote Punkte), Chancen (grüne Punkte) bzw. noch unklaren Fälle (graue Punkte).

Gewisse Herausforderungen – die steigende Schneefallgrenze, die Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft sowie die klimabedingten Auswirkungen im Ausland – beinhalten sowohl Risiken als auch Chancen. Sie sind durch eine Verbindungslinie zwischen der linken und rechten Spalte gekennzeichnet. Die Herausforderung «Verbesserung von Standortbedingungen» ist ein Sammelbegriff für verschiedene Chancen des Klimawandels.

Auch am Beispiel der Landwirtschaft wird deutlich, dass die Auswirkungen des Klimawandels sowohl zu Risiken als auch zu Chancen führen. Während vermehrte Trockenheit gravierende Ernteeinbussen (= Risiko) nach sich ziehen kann, dürften sich steigende Durchschnittstemperaturen generell positiv auf die Wachstumsbedingungen landwirtschaftlicher Kulturen auswirken (= Chance).

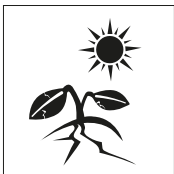
In den folgenden Abschnitten werden die in Abbildung 1 genannten prioritären Risiken und Chancen im Kontext der zugehörigen Herausforderungen kurz charakterisiert. Die Beschreibung bezieht sich auf die erwarteten Auswirkungen im Zeitraum um 2060.

Klimamodelle erlauben eine zuverlässige Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung der **Temperaturen, Niederschläge** sowie die Lage der **Schneefallgrenze**. Das wissenschaftliche Verständnis der zukünftigen Entwicklung ist hier gross und die unmittelbaren Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft sind relativ gut erforscht. Konkrete Anpassungsmassnahmen lassen sich planen und werden zum Teil bereits heute umgesetzt. Obwohl die negativen Auswirkungen des Klimawandels überwiegen, gibt es auch Chancen, insbesondere was den Einfluss höherer Durchschnittstemperaturen auf die **Standortbedingungen** betrifft.



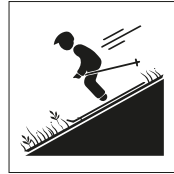
Die zunehmende Hitzebelastung kann die Gesundheit einiger Bevölkerungsgruppen stark beeinträchtigen. Besonders in den tieferen Lagen und grossen Agglomerationen wird

die Bevölkerung im Sommer unter häufigeren und intensiveren Hitzewellen leiden. Hitzewellen haben in der jüngeren Vergangenheit bereits zahlreiche Todesopfer gefordert. Anpassungsmöglichkeiten an Hitzewellen sind bekannt. Massnahmen, die einen zusätzlichen Kühlenergiebedarf nach sich ziehen, sind im Interesse des Klimaschutzes möglichst zu vermeiden.



Häufigere Trockenheit kann in Zukunft vermehrt zu lokaler, temporärer Wasserknappheit führen und Nutzungskonflikte verschärfen. Auch Ernteeinbussen in der Landwirtschaft

und das Waldbrandrisiko können zunehmen. Trockenheit verschärft die Konkurrenz um Trinkwasser, Brauchwasser für Landwirtschaft, Industrie, Energieproduktion und Feuerwehr sowie Restwasser zum Erhalt von Lebensräumen in Fliessgewässern. Nutzungskonflikte können mit einem umfassenden und vorausschauenden Management der Wasserressourcen vermieden werden.



Weniger Schnee gefährdet die Wirtschaftlichkeit von tiefer gelegenen Wintersportgebieten, andere Bereiche profitieren. Die steigende Schneefallgrenze führt zur Abnahme der

Schneesicherheit und verkürzt die Wintersaison. Bereits heute werden viele Pisten technisch beschneit. Die Kunstschneeproduktion ist sehr energie- und wasserintensiv, was hohe Kosten verursacht und zudem keine nachhaltige Lösung darstellt. Chancen können sich für die Wasserkraftproduktion im Winter ergeben, weil mehr Niederschlag in Form von Regen fällt. Der Aufwand für Winterdienst und Strassenunterhalt wird tendenziell abnehmen.



Steigende Temperaturen bieten Chancen für verschiedene wirtschaftliche und gesellschaftliche Bereiche. Höhere Mitteltemperaturen begünstigen das Pflanzenwachstum

bei entsprechender Wasserversorgung in der Land- und Waldwirtschaft, führen zu einem tieferen Heizenergiebedarf und machen das Berggebiet attraktiver für den Sommertourismus. Eine Sensibilisierung der betroffenen Akteure ist wichtig, damit die sich bietenden Chancen rechtzeitig erkannt und bewusst genutzt werden.

Der Verlauf von **Naturgefahrenereignissen** ist vom Zusammenspiel zahlreicher situativer Faktoren abhängig und ihr Schadensausmass wird stark von der Veränderung der gefährdeten Werte beeinflusst. Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels sind mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet. In der Schweiz wird Naturgefahren mithilfe des integralen Risikomanagements begegnet. Mit dem Klimawandel können sich Lokaltäten/Regionen und Zeitpunkte von Schadenereignissen verlagern und Prozessabläufe verändern. Darum ist es wichtig, von Klimaparametern beeinflusste Naturgefahrenrisiken regelmässig neu zu beurteilen.



Beim Hochwasserrisiko wird eine leichte Zunahme erwartet; der Zeitraum, in dem Hochwasser auftreten, dürfte sich verlängern. Veränderte Niederschläge und frühere Schneeschmelze führen dazu, dass sich die potenzielle Hochwassersaison vom Frühsommer in das Winterhalbjahr

verschieben wird.

verschiebt und verlängert. Auch ist wahrscheinlich, dass Siedlungen weiter wachsen und so immer mehr Menschen, Sachwerte und Infrastrukturen einem Hochwasserrisiko ausgesetzt sind. Der risikobewussten Nutzung gefährdeter Gebiete ist darum besondere Aufmerksamkeit zu schenken.



Gletscherrückzug und auftauender Permafrost können die Häufigkeit und/oder das Ausmass von Massenbewegungen erhöhen.

Massenbewegungen wie Felssturz, Steinschlag und Rutschungen sind Ereignisse, die vor allem abseits von genutzten Gebieten auftreten. Sie können lokal schwerwiegende Folgen haben und sich in Gebiete verlagern, die bis anhin von dieser Gefährdung nicht betroffen waren. Veränderungen müssen beobachtet und frühzeitig erkannt werden, z.B. entlang von Verkehrswegen und touristisch genutzten Gebieten im Gebirge.

Viele Auswirkungen des Klimawandels auf die **Ökosysteme** sind heute noch kaum abschätzbar. Zu komplex sind die vielfältigen Interaktionen und Abhängigkeiten zwischen Arten, ihren Lebensräumen und natürlichen Rahmenbedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit. Trotz mangelnder wissenschaftlicher Gewissheit über die zu erwartenden Auswirkungen können die Voraussetzungen verbessert werden, sodass potenziell gefährdete Arten oder ökologisch wertvolle Lebensräume in der Lage sind, sich an veränderte Klimabedingungen anzupassen.



Die Veränderung des Klimas hat zahlreiche, mehrheitlich negative Auswirkungen auf die Biodiversität.

Temperaturanstieg und zunehmende Trockenheit sind Stressfaktoren, die den Zustand vieler Ökosysteme verschlechtern. Aquatische und alpine Ökosysteme sind speziell davon betroffen. Für einzelne Arten und Lebensräume sind auch positive oder ambivalente Folgen zu erwarten. Intakte, ausreichend grosse und vernetzte Lebensräume sind anpassungsfähiger an sich verändernde klimatische Bedingungen. Daher ist ihr Schutz von grosser Bedeutung.

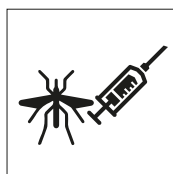
Zur Veränderung der **Sturm- und Hagelaktivität** existieren keine robusten Projektionen. Auch Aussagen zur Ausbrei-

tung von **Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten**, zu den sogenannten **Wildcard-Risiken** sowie zum Einfluss der klimabedingten **Auswirkungen im Ausland** auf die Schweiz sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Diese Herausforderungen sind durch zufällige Ereignisse und komplexe Wirkungsketten gekennzeichnet, die sich nur beschränkt modellieren lassen. Nebst weiterer Forschung geht es darum, auf überraschende Entwicklungen bestmöglich vorbereitet zu sein.



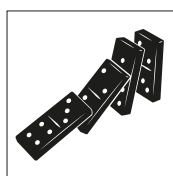
Stürme können grossflächigen Schaden anrichten – Hagel kann lokal zu hohen Wertverlusten führen.

Schwere Stürme und Hagelereignisse sind relativ selten, je nach Verlauf sind sie aber mit hohen Kosten für Öffentlichkeit und Private verbunden. Eine klimabedingte Zunahme der Sturm- und Hagelaktivität wird möglicherweise erst erkannt, wenn sie bereits ein beträchtliches Ausmass erreicht hat. Darum sollten frühzeitig Massnahmen ergriffen werden, die Wirtschaft und Gesellschaft resilienter machen gegenüber Sturm- und Hagelschäden.



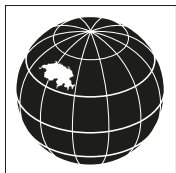
Die Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten erhöht das Risiko einer Erkrankung von Mensch und Tier.

Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremde Arten können sich auch negativ auf die Land- und Waldwirtschaft sowie Biodiversität auswirken. Der Klimawandel begünstigt ihre Verbreitung, Gütertransporte und das Reiseverhalten der Menschen spielen aber eine zentrale Rolle. Um die Früherkennung zu gewährleisten, sind Überwachungsmassnahmen vordringlich.



Wildcard-Risiken sind unerwartete Ereignisse mit grossem Schadenpotenzial.

Wildcards beschreiben vorstellbare, plausible Ereignisverläufe, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und deren mögliche Auswirkungen heute kaum abschätzbar sind. Zu den Wildcards zählen z.B. Risiken aufgrund bisher in der Schweiz nicht beobachteter Wetterlagen oder kritische Verkettungen von Naturgefahrenereignissen. Szenarioanalysen sind ein mögliches Instrument, um besser auf Wildcard-Risiken vorbereitet zu sein.



In der globalisierten Wirtschaft führen klimabedingte Auswirkungen im Ausland zu Risiken und Chancen für die Schweiz. Extremereignisse können die Produktion wichtiger Handels-

güter stören, Importe und Exporte beeinträchtigen und in besonders exponierten Regionen zu politischer Instabilität führen. Andererseits bieten sich Chancen für die Schweiz als Dienstleisterin bei der Klimaanpassung. In besonders klimasensiblen Bereichen muss der Einfluss von Störungen des Welthandels auf die Versorgungssicherheit vorausschauend berücksichtigt werden.

Der vorliegende Synthesebericht dokumentiert, welche Risiken und Chancen des Klimawandels für den Zeithorizont 2060 aus Sicht der Schweiz bestehen und wie diese aus heutiger Sicht zu gewichten sind. Es hat sich gezeigt, dass die Anpassungsstrategie des Bundesrates (BAFU 2012b) die vorhandenen Herausforderungen, Risiken und Chancen nicht vollständig abdeckt. Die Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität, die Verbesserung von Standortbedingungen sowie Wildcard-Risiken und klimabedingte Auswirkungen im Ausland sind bei der Weiterentwicklung der Strategie ebenfalls zu berücksichtigen. Zudem sollten zwei Herausforderungen umbenannt werden: Hitzebelastung ist nicht nur in Städten und Agglomerationen und Trockenheit ist nicht nur im Sommer ein relevantes Risiko.

Die Risikoanalyse als Ganzes stellt zahlreiche Befunde sowie methodische Hilfsmittel bereit, die Kantone und Regionen bei der Entwicklung eigener Anpassungsstrategien nutzen können. Das Vorgehen zur Erarbeitung der acht Fallstudien kann auf andere Gebiete angewendet werden, und die Ergebnisse der Fallstudien und der Synthese lassen sich auf vergleichbare Raumeinheiten übertragen.

Die klimabedingten Risiken und Chancen wurden aus einer relativ grossen Flughöhe (schweizweit) priorisiert. Lokal und regional können andere Phänomene im Vordergrund stehen. Sobald neue oder detailliertere Erkenntnisse vorliegen oder wichtige Rahmenbedingungen sich verändern, sollten die identifizierten Risiken und Chancen überprüft und gegebenenfalls unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten angepasst bzw. ergänzt werden.

Komplexe Interaktionen in und zwischen natürlichen und sozioökonomischen Systemen, nicht-lineare Entwicklungen und unbekannte Schwellenwerte («Tipping Points») können die Bewertung gewisser Auswirkungen des Klimawandels erschweren. Neue Klimaszenarien, vertiefte Forschung in den verschiedenen Auswirkungsbereichen und die systematische Beobachtung von Veränderungen, die sich bereits manifestieren, werden es erlauben, vorhandene Unsicherheiten weiter zu reduzieren und den Handlungsbedarf präziser zu beurteilen. Es wäre aber unrealistisch, damit zu rechnen, dass schon bald ein detailliertes Prozessverständnis vorliegt, das für alle betroffenen Bereiche massgeschneiderte Anpassungsmassnahmen ermöglicht.

Die vorliegende Grundlage erlaubt es trotz der vorhandenen Unsicherheiten, die Anpassung an den Klimawandel effizient auszugestalten und Ressourcen gezielt einzusetzen. Das Spektrum der identifizierten Risiken und Chancen ist sehr breit. Entsprechend vielfältig sind die erforderlichen Vorgehensweisen – von der Verbesserung der Prozesskenntnisse über die kontinuierliche Überwachung bekannter Risiken bis hin zur Entwicklung oder Einleitung konkreter Massnahmen. Neben dem proaktiven Umgang mit erkannten Risiken und Chancen ist auch der Fähigkeit, unerwartete und überraschende Entwicklungen zu bewältigen, vermehrt Beachtung zu schenken.

1 Einleitung

1.1 Kontext

2009 erteilte der Bundesrat der Bundesverwaltung den Auftrag, die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz als Grundlage für die Strategie zur Anpassung an den Klimawandel zu analysieren. Dieser Auftrag wurde einerseits verwaltungsintern, andererseits mit einem umfangreichen Projekt, dem der vorliegende Bericht gewidmet ist, umgesetzt.

Verwaltungsintern wurden im Zeitraum 2009 – 2011 neun Sektoren bestimmt, die vom Klimawandel in besonderem Ausmass betroffen sind. Die Auswahl fokussierte auf jene Sektoren, in denen der Bund Handlungsmöglichkeiten bei der Anpassung an den Klimawandel hat. Die Beurteilung der Betroffenheit klimarelevanter Bereiche war qualitativ, erfolgte aus der Sicht der zuständigen Fachstellen und basierte in erster Linie auf Expertenwissen innerhalb der Verwaltung. Ergebnis dieses Prozesses war der erste Teil der Strategie des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel auf Bundesebene (BAFU 2012b).

Parallel dazu wurden mit einem sektorübergreifenden, integralen und datengestützten Ansatz die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz analysiert. Dieses Projekt – nachfolgend unter dem Begriff «Risikoanalyse» zusammengefasst – knüpfte an die verwaltungsinternen Arbeiten an, stützte sich aber auf eine eigens für diesen

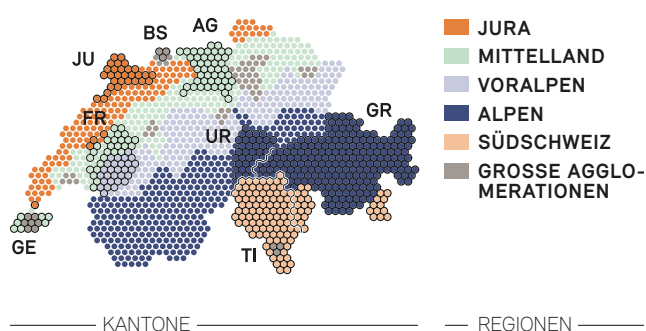
Zweck entwickelte Methodik (Holthausen et al. 2013a). Diese wurde im Rahmen von acht kantonalen Fallstudien auf verschiedene Regionen der Schweiz angewendet (FS1 – FS8, siehe Kasten am Ende des Kapitels). Die Ergebnisse der Fallstudien wurden auf sechs Grossräume übertragen, welche die ganze Schweiz abdecken (Abb. 2). Auf dieser Basis konnten die aus nationaler Sicht prioritären Risiken und Chancen bei der Anpassung an den Klimawandel identifiziert werden.

Der vorliegende Synthesebericht der Risikoanalyse dient als eine wichtige Grundlage für die Überprüfung und Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie (BAFU 2012b) und des Aktionsplans des Bundesrates (BAFU 2014a). Die Ergebnisse erlauben es, Schwerpunkte für die Anpassungsaktivitäten auf Bundesebene zu setzen und die Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz zielgerichteter zu gestalten.

Gleichzeitig stellt die Risikoanalyse Befunde und methodische Hilfsmittel bereit, die Kantone und Regionen bei der Entwicklung eigener Anpassungsstrategien nutzen können. Das Vorgehen zur Erarbeitung der acht Fallstudien kann auf andere Gebiete angewendet oder zur vertieften Analyse kleinerer Räume adaptiert werden. Wo vergleichbare Rahmenbedingungen bestehen, können Ergebnisse auf andere Raumeinheiten übertragen und für die Konkretisierung des weiteren Vorgehens bei der Klimaanpassung verwendet werden. Der separate Methodenbericht zu den Fallstudien (Holthausen et al. 2013a) dokumentiert im Detail, wie die klimabedingten Risiken und Chancen identifiziert und auf transparente Weise bewertet wurden. Der Synthesebericht enthält eine umfangreiche Liste relevanter Risiken und Chancen für die Schweiz, stellt die prioritären Risiken und Chancen im Detail vor und gibt Hinweise, wie bei der Priorisierung vorgegangen werden kann.

Abbildung 2

Fallstudienggebiete und Grossräume für die Analyse klimabedingter Risiken und Chancen



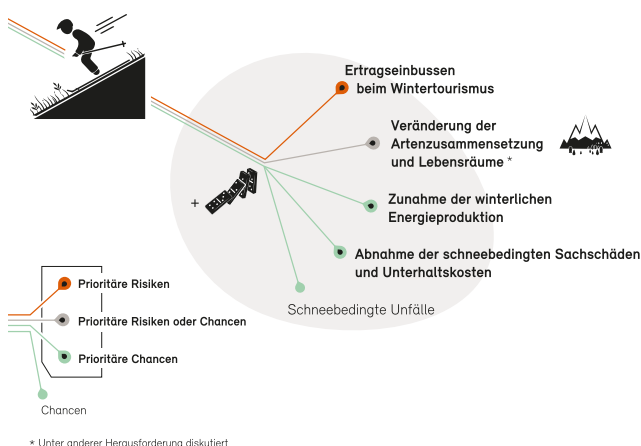
1.2 Gliederung des Berichts und Erläuterungen zu den Abbildungen

Der vorliegende Synthesebericht gliedert sich in eine Übersicht mit den wichtigsten Ergebnissen (**Zusammenfassung**) sowie 15 Kapitel. Anschliessend an die Einleitung (**Kapitel 1**) wird in **Kapitel 2** der Risikoansatz präsentiert, der dem Projekt zugrunde liegt.

Die **Kapitel 3 bis 14** bilden das Kernstück des Berichts. Sie gehen auf die einzelnen Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz ein und beschreiben die prioritären Risiken und Chancen detailliert im Kontext dieser Herausforderungen.

Kapitel 3 bis 8 sowie 11 und 12 weisen eine einheitliche Struktur auf. Einleitend wird die Herausforderung in ihrer heutigen Ausprägung, und wie sie sich unter dem Klimaszenario verändern könnte, beschrieben. Die nachstehende Abbildung 3 zeigt am Beispiel der Herausforderung «Steigende Schneefallgrenze», wie die prioritären und nicht-prioritären Risiken (rot) sowie Chancen (grün), die mit der Herausforderung verbunden sind, grafisch dargestellt werden. Prioritäre Risiken (und Chancen, wo vorhanden) sind mit einem grossen Punkt hervorgehoben. Bei prioritären Risiken, die unter einer anderen Herausforderung diskutiert werden, ist das Piktogramm der entsprechenden Herausforderung angegeben.

Abbildung 3
Übersichtsgrafik zur Illustration der Risiken und Chancen pro Herausforderung



Anschliessend werden die der Herausforderung zugeordneten prioritären Risiken oder Chancen in separaten Unterkapiteln einzeln beschrieben.

Das Unterkapitel zu jedem prioritären Risiko (bzw. Chance³) beschreibt:

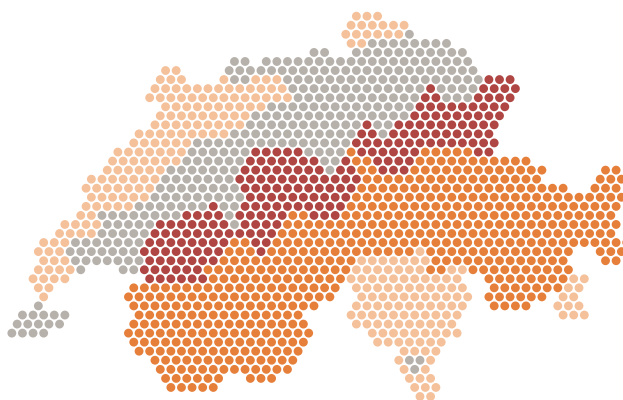
- die Relevanz des Sektors, der durch das prioritäre Risiko betroffen ist, bzw. die Relevanz der möglichen Auswirkungen;
- den Prozess, der zu den Auswirkungen führt, und das Ausmass der heutigen Auswirkungen (soweit relevant);
- die Grössenordnung der möglichen, klimabedingten Veränderung des Risikos bis 2060 pro Grossraum (siehe Abb. 4);

Abbildung 4
Karte zur Illustration der Veränderung von Risiken (bzw. Chancen) pro Grossraum

Die Karte zeigt summarisch und schematisch das Ausmass der klimabedingten Veränderung bis 2060, die in jedem der sechs Grossräume erwartet wird. Risiken werden rot, Chancen werden grün dargestellt.

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- bedeutend
- nicht relevant



3 Die nachfolgenden Aussagen gelten sinngemäss auch für die prioritären Chancen.

- die weiteren Kriterien, welche die Bewertung als prioritäres Risiko mitbestimmen (Irreversibilität, kritische Infrastrukturen, sozioökonomische Entwicklungen, Interessenskonflikte, Anpassungsfähigkeit; siehe auch Anhang A2.3) und die Grossräume, für welche das Risiko als prioritär eingestuft wird (siehe Abb. 5);
- Hinweise zu Massnahmen für die Anpassung (nur generelle Stossrichtungen; Beispiele für konkrete Anpassungsaktivitäten finden sich u.a. im Schlussbericht zum vom BAFU initiierten «Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel» BAFU 2017c).

Abbildung 5

Piktogramme zur Kennzeichnung der Grossräume, in welchen ein Risiko (bzw. eine Chance) prioritär ist

Ist das Risiko (bzw. die Chance) in einem Grossraum nicht prioritär, wird das Piktogramm in Grautönen dargestellt.



Kapitel 9 und 10 sowie 13 und 14 haben eine Struktur, die von der oben beschriebenen abweicht. Die prioritären Risiken zur Herausforderung «Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität» (Kapitel 9) werden unter denjenigen Herausforderungen dargestellt, bei welchen sie besonders zum Tragen kommen. Kapitel 10 zur Herausforderung «Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft» ist in mehrere Unterkapitel gegliedert, die einerseits auf besonders klimasensitive Ökosysteme, andererseits auf generelle Herausforderungen für alle Ökosysteme eingehen. Die zugehörigen prioritären Risiken und Chancen werden innerhalb dieser Unterkapitel abgehandelt.

Die Kapitel 13 und 14 beschreiben Wildcards bzw. Risiken und Chancen aufgrund der klimabedingten Auswirkungen im Ausland. Sie gehen auf Herausforderungen ein, die sich aus der Komplexität der Interaktionen von Klima, Naturraum, Gesellschaft und Wirtschaft auf nationaler und auf internationaler Ebene ergeben. Kapitel 13 thematisiert Risiken in der Schweiz, deren Eintrittswahrscheinlichkeit gering oder kaum abschätzbar ist, die aber ein grosses Schadenpotenzial aufweisen. Kapitel 14 trägt dem Umstand Rechnung, dass die Schweiz sehr stark in internationale Wirtschaftsbeziehungen eingebunden ist, die durch klimabedingte Ereignisse und Entwicklungen beeinflusst werden können.

Das abschliessende **Kapitel 15** geht auf die Unsicherheiten ein, die im Zusammenhang mit der Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf Natur, Gesellschaft und Wirtschaft bestehen. Es benennt bestehende Wissenslücken und gibt Hinweise auf Handlungsoptionen in einem von Unsicherheiten geprägten Umfeld.

Der Bericht endet mit einem umfangreichen **Anhang**, in welchem die vollständige Liste aller identifizierten Risiken und Chancen, ein Kapitel mit detaillierten Informationen zum methodischen Vorgehen sowie eine Liste aller Experten und Expertinnen, die an der Methodik, den Fallstudien und der Synthese mitgewirkt haben, enthalten sind.

Referenzierung der Fallstudien im Bericht

Die acht kantonalen Fallstudien sind eine wichtige Grundlage für den vorliegenden Bericht und werden häufig zitiert. Um die Lesbarkeit zu verbessern, wird für ihre Referenzierung ein Kurzzeichen verwendet. Die vollständigen Quellenangaben finden sich im Literaturverzeichnis.

- FS1 = Fallstudie Aargau
- FS2 = Fallstudie Basel-Stadt
- FS3 = Fallstudie Freiburg
- FS4 = Fallstudie Genf
- FS5 = Fallstudie Graubünden
- FS6 = Fallstudie Jura
- FS7 = Fallstudie Tessin
- FS8 = Fallstudie Uri

2 Identifikation von Risiken und Chancen

Die vorliegende Synthese dokumentiert und priorisiert Klimarisiken und -chancen für das gesamte Gebiet der Schweiz. Sie beruht auf den im Rahmen der acht kantonalen Fallstudien erarbeiteten Informationen sowie auf einer breiten Basis von Fachliteratur und Expertenwissen. Der gewählte methodische Ansatz ist in Anhang A2 näher beschrieben. Kennzeichnend für das gewählte Vorgehen ist, dass:

- die Analyse auf gut dokumentierten, wissenschaftlich konsolidierten Grundlagen (inkl. der aktuellsten verfügbaren Klimaprojektionen) zur globalen, nationalen und regionalen Klimaentwicklung basiert;
- das Wissen von rund 360 national, regional und lokal verankerten Expertinnen und Experten anlässlich von Workshops und durch die Begutachtung von Berichtsentwürfen einfluss;
- für die Erarbeitung der Fallstudien sowie für die Übertragung der Ergebnisse auf die entsprechenden Grossräume der Schweiz eine konsistente, sektorübergreifende Methodik zum Einsatz kam.

Klimaszenarien

Die im vorliegenden Synthesebericht gemachten Aussagen zu den Risiken und Chancen beruhen auf dem Klimaszenario «starker Klimawandel», das sich aus dem Emissionsszenario A1B des IPCC ableiten lässt. Das Emissionsszenario A1B geht für die nächsten Jahrzehnte von einem unverminderten Anstieg der globalen Treibhausgasemissionen aus. Auf Basis dieses Emissionsszenarios wurde ein Klimaszenario für die Schweiz berechnet (CH2011 2011). Dieses beschreibt die erwartete Entwicklung von Temperatur und Niederschlag pro Jahreszeit zwischen dem Durchschnitt der Periode 1980–2009 («heute») und der Periode 2045–2074 («2060»). Die wahrscheinlichsten Werte für Temperatur und Niederschlag im Zeitpunkt 2060 werden dabei innerhalb von Bandbreiten angegeben.

Für das Szenario «starker Klimawandel» wurde nicht der mittlere Schätzwert verwendet, sondern jeweils der «obere» bzw. «untere» Wert der angegebenen Bandbreite. Für die Temperaturprojektionen aller Jahreszeiten wurden die oberen Werte ausgewählt, für die Niederschlagsprojekti-

onen die oberen Werte für Winter und Frühling und die unteren Werte für Sommer und Herbst. Das Klimaszenario «starker Klimawandel» beschreibt daher eine etwas stärkere Klimaänderung (höherer Temperaturanstieg, mehr Winterniederschläge und grössere Sommertrockenheit) als die mittleren Werte des Emissionsszenarios A1B.

Priorisierung von Risiken und Chancen

Aus den acht Fallstudien ergab sich eine umfangreiche Liste von Risiken und Chancen. Um bei der Planung von Anpassungsmassnahmen oder bei der Beschaffung besserer Planungsgrundlagen Schwerpunkte setzen zu können, wurde diese Liste nach Abschluss der Fallstudien anhand von einheitlichen Kriterien priorisiert.

Eine erste Priorisierung erfolgte aufgrund der Differenz zwischen dem heutigen Risiko und dem Risiko um 2060. Dies unter der hypothetischen Annahme, dass in der Zwischenzeit keine Anpassungsmassnahmen ergriffen werden. Weitere Kriterien wie absehbare sozioökonomische Veränderungen, aber auch die Irreversibilität eines potenziellen Schadens oder die vorhandene Anpassungsfähigkeit im betrachteten Gebiet wurden beigezogen, um die Bewertung der Risiken und Chancen weiter zu differenzieren. Eine vollständige Liste der für die Priorisierung verwendeten Kriterien findet sich im Methodenbeschrieb (Anhang A2.3).

Dieses Vorgehen wurde mit den Ergebnissen der acht Fallstudiengebiete durchgeführt und in einem zweiten Schritt auch auf die Resultate der sechs Grossräume angewendet. Als Ergebnis resultierten rund 30 prioritäre Risiken und Chancen, die den wichtigsten Herausforderungen, die sich bei der Anpassung an den Klimawandel auf Bundesebene ergeben (BAFU 2012b), zugeordnet werden können. Diese prioritären Risiken und Chancen werden in den Kapiteln 3 bis 14 vertieft kommentiert.

Präzisierung der Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel

Die Anpassungsstrategie des Bundesrates (BAFU 2012b) unterscheidet zwölf Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel. Acht dieser zwölf Herausforderungen beziehen sich auf konkrete Klimaauswirkungen:

- grössere Hitzebelastung in Agglomerationen und Städten
- zunehmende Sommertrockenheit
- steigende Schneefallgrenze
- steigendes Hochwasserrisiko
- abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen
- Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität
- Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft
- Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten

Vier weitere Herausforderungen der Anpassungsstrategie betreffen Querschnittsthemen⁴ und waren nicht Gegenstand der vorliegenden Risikoanalyse. Hingegen legen die neu gewonnenen Ergebnisse nahe, dass die Liste der Herausforderungen um vier Themen ergänzt werden sollte:

- Verbesserung von Standortbedingungen (Sammelbegriff für Chancen des Klimawandels)
- Wildcards (Sammelbegriff für Risiken, deren Eintrittswahrscheinlichkeit nicht quantifizierbar ist, die aber von grosser Tragweite sein könnten)
- klimabedingte Auswirkungen im Ausland
- Veränderungen der Sturm- und Hagelaktivität (zurzeit noch nicht eindeutig bewertbar)

Die zwölf genannten Herausforderungen sind im Kapitel «Zusammenfassung» (Abb. 1) aufgeführt und mit Piktogrammen illustriert. Gegenüber der Anpassungsstrategie musste die Bezeichnung einzelner Herausforderungen leicht angepasst werden, damit diese alle Risiken und Chancen abdecken. So lautet die erste Herausforderung nun allgemeiner «Grössere Hitzebelastung», weil die Untersuchungen gezeigt haben, dass nicht nur in dicht bebautem Gebiet der Handlungsbedarf aufgrund von Hitze zunehmen dürfte. Auch die Herausforderung «Zunehmende Trockenheit» ist offener formuliert und nicht mehr nur auf den Sommer beschränkt.

Aussagekraft der Ergebnisse

Die vorliegende Risikoanalyse erhebt nicht den Anspruch, alle Risiken und Chancen des Klimawandels, welche die Schweiz betreffen könnten, identifiziert zu haben. Sie fokussiert auf einen Überblick im grossregionalen Rahmen. Damit trägt sie wichtigen Charakteristiken der verschiedenen Naturräume der Schweiz Rechnung. Hingegen kann sie der Vielfalt der klimatischen, geografischen und sozioökonomischen Besonderheiten im lokalen Kontext nicht gerecht werden. Um Aussagen auf dieser Ebene zu machen, sind gezielte und vertiefte Untersuchungen erforderlich, die auf dem Synthesebericht und den einzelnen Fallstudien aufbauen können.

Risiken und Chancen (Definition)

Als **Risiko** wird das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass eines Ereignisses bezeichnet, als **Chance** das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Nutzen eines Ereignisses. Risiken und Chancen werden für den heutigen Zustand (ca. 2010) sowie für den Zeitraum um 2060 (Mittelwert der Periode 2045 – 2074) bestimmt.

Bei der Analyse von **Naturgefahren** wie Sturm oder Hochwasser werden **100-jährliche Ereignisse** zugrunde gelegt. Bei **langsamen Veränderungen**, wie z. B. der Mitteltemperatur oder der Schneefallgrenze, werden die **jährlichen Erwartungswerte** der Risiken (bzw. Chancen) bestimmt.

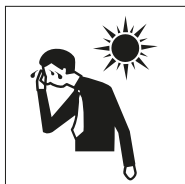
Im Rahmen der vorliegenden Risikoanalyse ergeben sich die **Risiken und Chancen des Klimawandels (= klimabedingte Risiken und Chancen)** aus der Differenz zwischen der Bewertung des Risikos in der Periode um 2060 und der Bewertung im heutigen Klima.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass Klimaprojektionen und Risikoabschätzungen von beträchtlichen Unsicherheiten geprägt sind (vgl. Kapitel 15). Sie geben zwar Anhaltspunkte für die Veränderung wichtiger vom Klima beeinflusster Parameter, zeigen damit verbundene mögliche Folgen für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft auf und können potenziell betroffene Stakeholder bei einer vorausschauenden Anpassungsplanung unterstützen. Mit fortschreitendem

⁴ «Monitoring und Früherkennung», «Unsicherheiten und Wissenslücken», «Sensibilisierung, Information und Koordination» sowie «Ressourcenbedarf und Finanzierung»

Wissen über die Entwicklung des Klimas und die damit verbundenen Auswirkungen, aber auch aufgrund der sich ständig verändernden wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, müssen identifizierte Risiken und Chancen immer wieder überprüft und gegebenenfalls angepasst und ergänzt werden.

3 Grössere Hitzebelastung



- Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit
- Leistungseinbussen bei der Arbeit
- Zunahme des Kühlenergiebedarfs



Sprühnebel zur Kühlung eines Kuhstalls im Baselbiet (2015)

Foto: Juri Junkov

Mit dem Klimawandel steigen die Temperaturen. Nicht nur die Durchschnittstemperaturen, auch die Extreme nehmen zu. Bis 2060 könnte das Thermometer in Basel Werte erreichen wie heute in Lugano. In Genf würden dann Temperaturen wie heute in Mailand und in Lugano solche wie aktuell in Florenz oder Rom herrschen (MeteoSchweiz 2014a).

Hitzewellen sind Perioden extremer Hitzebelastung. Das Hitzeempfinden orientiert sich an den ortsüblichen Temperaturen, darum wird Hitze in St.Gallen nicht gleich definiert wie in Sion. Man spricht von einer Hitzewelle, wenn mindestens sechs Tage von Mai bis September aufein-

anderfolgen, an denen das 90ste Perzentil der lokalen Maximaltemperaturen der Referenzperiode (1981 – 2010) überschritten wird (MeteoSchweiz 2014b).

Die Anzahl der – meteorologisch definierten – Hitzetage (Maximaltemperatur grösser oder gleich 30 °C) und Tropennächte (Minimaltemperatur grösser oder gleich 20 °C) sowie deren Dauer eignen sich gut als Indikatoren für die Hitzebelastung. Wichtig ist auch die Luftfeuchtigkeit, da Hitze bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit schlechter ertragen wird. MeteoSchweiz warnt daher vor Hitzewellen, wenn der sogenannte Heat Index, der sich aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit ableitet und ein

Mass für die «gefühlte Temperatur» ist, während dreier aufeinanderfolgender Tage eine vordefinierte Schwelle überschreitet (MeteoSchweiz 2014b).

Hitze tritt vor allem im Sommer in tieferen Lagen auf. In diesem Bereich lebt ein Grossteil der Schweizer Bevölkerung. Auch in Alpenkantonen wie Graubünden und Wallis sind vor allem die tiefer gelegenen Alpentäler besiedelt (FS5). Grössere Agglomerationen und Städte sind aufgrund des zusätzlichen Wärmeinseleffekts besonders von der Hitzebelastung betroffen (BAFU 2012b, EUA 2012b, Patz et al. 2005).

Der sogenannte Wärmeinseleffekt beschreibt das spezielle Mikroklima in Städten: grössere Erwärmung tagsüber und reduzierte Abkühlung nachts. Ursachen sind eine eingeschränkte Luftzirkulation wegen dichter Bebauung, ein höherer Absorptionsgrad der Sonnenstrahlung aufgrund des hohen Anteils versiegelter Flächen und der verwendeten Baumaterialien, zusätzliche Abwärme von Verkehr, Industrie und Gebäuden sowie fehlende Grünflächen und Beschattung. Der Temperaturunterschied zwischen Städten und ihrer ländlichen Umgebung kann

bis zu 10°C betragen und ist nachts am stärksten ausgeprägt (BAFU 2012b, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, DEFRA 2012b).

Beobachtete und erwartete Entwicklung

In der Schweiz haben sich seit 1901 die heissesten Tage und Wochen um ungefähr 2°C erwärmt, und im gleichen Zeitraum hat sich die Anzahl der Temperaturextreme⁵ mehr als verdreifacht (Scherrer et al. 2016). Die Zunahme der mittleren und maximalen Lufttemperatur im Sommer ist eine der robustesten Aussagen von Klimaprojektionen (IPCC 2013). In der Schweiz wird erwartet, dass Intensität, Häufigkeit und Dauer von Hitzewellen deutlich zunehmen (CH2011 2011). Der Sommer 2003 dürfte gesamteuropäisch der wärmste seit mindestens 500 Jahren gewesen sein (OcCC/SCNAT 2005). Bereits Mitte, spätestens Ende des 21. Jahrhunderts könnte ein solcher Sommer zur Normalität werden. Mindestens jeder zweite Sommer wäre dann gleich warm oder wärmer als 2003 (Schär et al. 2004).

⁵ Anzahl Tage, an denen die Tagesmaximaltemperatur höher liegt als 99% aller gemessenen Werte

Abbildung 6

Grössere Hitzebelastung: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken

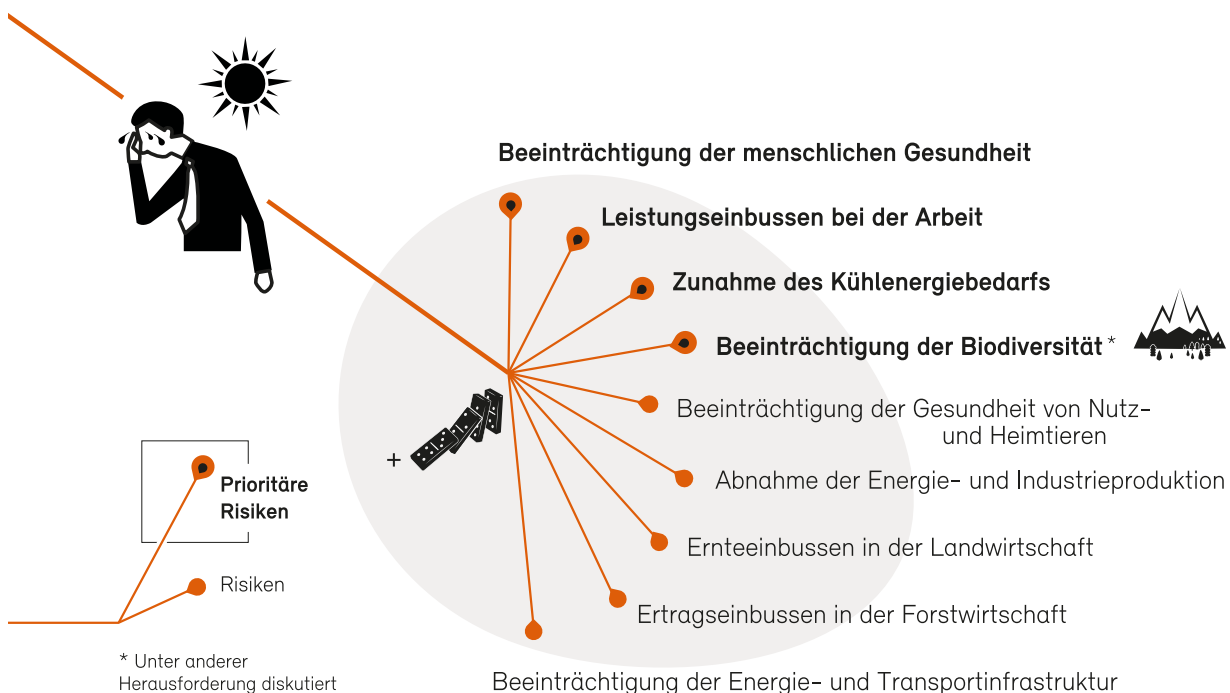


Tabelle 1

Hitzetage und Tropennächte in Basel und Genf

	Hitzetage		Tropennächte	
	heute	2060	heute	2060
Basel (ohne/mit Wärmeinseleffekt)	10/16	33/45	1/3	17/29
Genf (ohne/mit Wärmeinseleffekt)	14/22	42/54	1/2	18/31

(Quelle: Füssler et al. 2015)

Tabelle 1 weist die Anzahl Hitzetage und Tropennächte in Basel und Genf aus. Sie zeigt die heutige Situation (Durchschnittswert der Referenzperiode 1981–2010) und die Projektionen für 2060 (Mittelwert der Periode 2045–2074). Die Werte «mit Wärmeinseleffekt» verdeutlichen die zusätzliche Hitzebelastung in den Stadtkernen. In Abbildung 6 sind die prioritären und nicht-prioritären Risiken aufgrund der Herausforderung «Grössere Hitzebelastung» dargestellt.

Hitzesommer 2015

Der Hitzesommer 2015 war nach 2003 der zweitwärmste Sommer der Schweiz seit Messbeginn im Jahr 1864. Der Juli 2015 wies lang anhaltende Hitzeperioden auf und war der heisseste je gemessene Juli. In Genf wurde mit 39,7 °C die höchste Temperatur auf der Alpennordseite seit Messbeginn gemeldet. 2015 zählte die zweithöchste Anzahl Hitzetage, nur 2003 gab es noch mehr. Die Anzahl Tropennächte erreichte – gleichauf mit 2003 – den höchsten je registrierten Wert. 2015 verzeichnete Genf 34 Hitzetage und 4 Tropennächte (MeteoSchweiz 2016c). Wie 2003 war es im Sommer 2015 nicht nur heiss, sondern auch trocken. Die Niederschlagsmenge war deutlich unterdurchschnittlich. Herausragend bezüglich Trockenheit war ebenfalls der Juli. Hitze und Trockenheit des Sommers 2015 hatten zahlreiche Auswirkungen auf die Biodiversität, die menschliche Gesundheit sowie Wasser-, Land-, Wald- und Energiewirtschaft.

(Quellen: BAFU 2016b, MeteoSchweiz 2016a)

3.1 Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

In Europa waren Hitzewellen die tödlichsten Naturereignisse in den letzten Dekaden (EUA 2017). Auch in der Schweiz sind sich Gesundheitsexperten einig, dass die zunehmende Hitzebelastung für den Sektor Gesundheit von grosser Wichtigkeit ist (Jörin et al. 2016).

Der gesunde menschliche Organismus weist eine Körpertemperatur von ungefähr 37 °C auf, die er durch Schwitzen, die Herzleistung und die Durchblutung der Haut steuert (Millard 2016). Hohe Temperaturen sowie eine hohe Luftfeuchtigkeit, wenig Windaktivität und die Sonneneinstrahlung erschweren das Regulieren der Körpertemperatur (FS1). Mögliche Auswirkungen hoher Temperaturen sind Dehydrierung, trockener Mund, Hyperthermie (Überhitzung), erhöhter Puls, Schwäche, Müdigkeit, Muskelkrämpfe, Verwirrtheit, Schwindel, Bewusstseinsstörungen, Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Hitzschlag, Herzkreislaufprobleme bis hin zum Hitzetod (Thommen & Braun-Fahrlander 2004, BAG & BAFU 2016).

Studien (Grize et al. 2005, Dousset et al. 2011, BAFU 2016b) zeigen, dass hohe Nachttemperaturen (Tropennächte) für die gesundheitliche Belastung und hitzebedingte Todesfälle eine entscheidende Rolle spielen, da sie die Erholung nach Hitzetagen verhindern. Auch der Zeitpunkt einer Hitzewelle ist von Bedeutung; so sind die Gesundheitsrisiken im Frühsommer und bei der ersten auftretenden Hitzewelle grösser als bei späteren Ereignissen. Hitzebedingte Todesfälle treten grösstenteils zu Beginn einer Hitzewelle auf. Der Mensch kann sich vorübergehend an ungewohnt hohe Temperaturen anpassen (UNDP 2016, Vicedo-Cabrera et al. 2016), und hitzeemp-

findliche Personen, welche die erste Hitzewelle überlebt haben, sterben oft auch bei einer nachfolgenden nicht (Thommen & Braun-Fahrländer 2004, Hajat et al. 2002).

Ältere Menschen sind den gesundheitlichen Risiken der Hitze besonders ausgesetzt, da sie über eine schlechtere Wärmeregulation verfügen und ein vermindertes Durstgefühl aufweisen. Weitere Risikogruppen sind (chronisch) Kranke, Kleinkinder, Schwangere und sozial isolierte Personen (Kovats & Hajat 2008, Wilhelmi & Hayden 2010).

Im Zusammenhang mit Hitzewellen können auch erhöhte Konzentrationen von bodennahem Ozon auftreten. Sofern die Vorläuferschadstoffe (Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen) vorhanden sind, führen hohe Temperaturen und starke Sonneneinstrahlung zu vermehrter Bildung von bodennahem Ozon (OcCC/ProClim 2007; vgl. Kapitel 9.3). Lang anhaltende Hochdrucklagen steigern die Ozonkonzentration zusätzlich (Lawrence et al. 2014, Schweizerische Eidgenossenschaft 2015). Ozon ist in Europa gegenwärtig der am stärksten die Gesundheit gefährdender Luftschadstoff (Eis et al. 2010). Er kann beim Menschen zu Augenbrennen, Husten, Asthma, Lungenerkrankungen, Einschränkungen in der Lungenfunktion und, bei bestehender Vorbelastung, zum Tod führen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a & 2016b).

Nebst gesundheitlichen Auswirkungen führen die Hitze- und die Ozonbelastung zu Mehrkosten in der Pflege und der medizinischen Versorgung. So nimmt unter anderem die Anzahl der Notfalleinweisungen während Hitzewellen zu (Michelozzi et al. 2009, Cerutti et al. 2004, CH2014-Impacts 2014).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Der Hitzesommer 2003 hat gezeigt, dass Hitzewellen bereits heute gravierende Folgen haben können. Schweizweit waren damals rund 1000 zusätzliche Todesfälle zu verzeichnen (Grize et al. 2005, Robine et al. 2007). Die Eidgenössische Expertenkommission für Lufthygiene hat geschätzt, dass zwischen 13 und 30 % der zusätzlichen Toten in diesem Sommer auf erhöhte Ozonwerte zurückzuführen waren (EKL 2004).

Mit dem Klimawandel wird in Zukunft das gesundheitliche Risiko aufgrund von Hitze zunehmen (IPCC 2014).

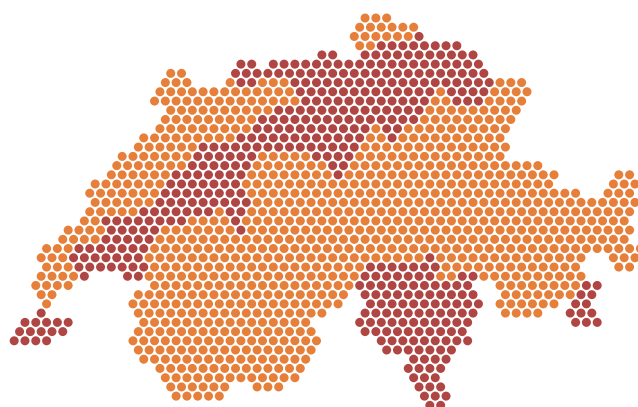
Bis zum Jahr 2060 wird eine bedeutende Zunahme des Risikos in den Agglomerationen, der Südschweiz und dem Mittelland erwartet. Für die Voralpen, die Alpen und den Jura wird eine moderate Zunahme projiziert (Abb. 7).

Abbildung 7

Veränderung der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- moderat
- bedeutend



Obwohl die Temperaturen in höheren Lagen tiefer sind und in den Voralpen und Alpen auch in Zukunft nur wenige Hitzetage und Tropennächte erwartet werden, muss auch dort das hitzebedingte Gesundheitsrisiko beachtet werden. Da die dort ansässige Bevölkerung an Hitzewellen nicht angepasst ist, dürfte sie diesen gegenüber eine höhere Verletzlichkeit aufweisen als z. B. die Bevölkerung in der Südschweiz (Grize et al. 2005).

Der Gefahr der Hitze wird – aus ethischer Sicht – eine grosse Bedeutung beigemessen, da sie irreversible Folgen haben kann (Todesfälle). Die Anpassungsfähigkeit der Schweiz an dieses Risiko wird durch die rechtlichen Strukturen – verschiedene Gesetze (u. a. Arbeitsgesetz, Unfallversicherungsgesetz), aber kein einheitliches Rahmengesetz – vermindert (Jörin et al. 2016). Das Risiko wird nicht nur durch Umweltfaktoren, sondern auch durch sozioökonomische Entwicklungen beeinflusst (FS2 – FS5, FS7, FS8). Die zunehmende Alterung der Bevölkerung sowie die grössere Anzahl von Pflegebedürftigen werden dazu führen, dass die Verletzbarkeit gegenüber Hitze-

wellen überproportional zunimmt. Zur Verschärfung des Risikos trägt auch die Tatsache bei, dass der Anteil der Personen, die in dicht besiedelten Gebieten leben, ansteigen dürfte. Hingegen könnte der Anteil der Gebäude mit Klimaanlage bis 2060 zunehmen. Dies steht jedoch in Konflikt mit den Zielen der Klima- und Energiepolitik, die eine Reduktion des Energieverbrauchs anstreben (vgl. Kapitel 3.3).

Eine physiologische Anpassung des menschlichen Körpers an höhere Temperaturen ist sowohl kurzfristig als auch langfristig (d.h. bei künftigen Generationen) möglich. Jedoch erfolgt die langfristige Anpassung nur an höhere Durchschnittstemperaturen, nicht jedoch an Extreme (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, OcCC/ProClim 2007).

Die klimabedingte Veränderung des Risikos, der Umstand, dass Menschenleben betroffen sind, sowie der Einfluss sozioökonomischer Entwicklungen führen zu einer prioritären Einstufung dieses Risikos für die ganze Schweiz (Abb. 8).

Abbildung 8

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Verschiedene Massnahmen können dazu beitragen, die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch grössere Hitzebelastung zu vermindern. Die Sensibilisierung der Bevölkerung trägt zum richtigen Verhalten bei (BAFU 2014a). So kann zum Beispiel jede und jeder ein-

zelne durch das Vermeiden von körperlichen Anstrengungen während der heissesten Tageszeit, durch Kühlung des Körpers und Fernhalten der Hitze sowie durch eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr und Einnahme von leichten Speisen das Risiko deutlich senken (BAG & BAFU 2016). Weiter ermöglichen Hitzewarnsysteme und Hitzepläne ein koordiniertes, schnelles und zielführendes Vorgehen. Raumplanerische Massnahmen in Städten (Durchlüftungskorridore, Freiräume, mehr Grün- und Gewässerflächen, Schatten) sowie bauliche Massnahmen (grüne bzw. helle Fassaden und Dächer, Klimatisierung) können das Risiko weiter reduzieren (DEFRA 2012c, OcCC/ProClim 2007).

Mortalität im Sommer 2015

In der Schweiz starben in den Monaten Juni, Juli und August des Sommers 2015 rund 800 Personen mehr als in einem normalen Sommer. Das entspricht einer Zunahme der Mortalitätsrate um 5,4 Prozent. (Zum Vergleich: Im Hitzesommer 2003 erreichte die zusätzliche Mortalität 6,9 %.) Drei Viertel der Verstorbenen waren über 75-jährig.

Tessin, Nordwestschweiz und Mittelland waren mit einer Zunahme der Mortalitätsrate von 9 Prozent und mehr am stärksten betroffen. In der Ostschweiz, wo es schweizweit am kühlest blieb, wurden hingegen tiefere Sterberaten als in einem normalen Sommer festgestellt.

Trotz grosser Hitze in der Westschweiz war in dieser Region die Zusatzsterblichkeit mit 5,2 Prozent tiefer als der landesweite Durchschnitt. Ursache hierfür könnten die Massnahmenpläne der Westschweizer Kantone sein, die nach dem Sommer 2003 entwickelt und auch im Sommer 2015 umgesetzt wurden. Ausserdem ist es möglich, dass sich die Nacht- und die gefühlten Temperaturen stärker auf die Mortalitätsrate ausgewirkt haben als die Tagesmaximaltemperaturen. Im Tessin waren die Nachttemperaturen höher als in der Westschweiz, obwohl im Westen die höchsten Tagesmaximaltemperaturen gemessen wurden.

(Quellen: BAFU 2016b, Vicedo-Cabrera et al. 2016)

Abnahme der Anzahl kältebedingter Krankheits- und Todesfälle⁶

In Zukunft dürfte die Schweizer Bevölkerung unter weniger kältebedingten Beschwerden (Unterkühlung, Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen) leiden. Im Unterschied zur Hitze werden die Auswirkungen der Kälte vor allem in höheren Lagen und bis zu drei bis vier Wochen nach einer Kältewelle festgestellt (Gasparrini et al. 2015).

In der Schweiz ist die Mortalitätsrate im Winter höher als im Sommer. Die erhöhte Wintersterblichkeit hängt weniger mit der Wirkung tiefer Temperaturen auf den Menschen als mit dem Grippevirus zusammen. Tiefe Temperaturen begünstigen die Ausbreitung dieses Virus (Ballester et al. 2016).

In Zukunft werden Kältewellen höchstwahrscheinlich an Häufigkeit und Dauer abnehmen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass intensive Kältewellen nicht mehr vorkommen können (CH2011 2011). Kältewellen bleiben insbesondere dann ein gesundheitliches Risiko, wenn die Schweizer Bevölkerung ihre Anpassungsfähigkeit an tiefe Temperaturen verlieren sollte (Ballester et al. 2016).

3.2 Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit

Die Schweiz wirbt für ihre Produkte und Dienstleistungen mit Werten wie Qualität, Präzision, Innovation und Zuverlässigkeit. Diese werden unter anderem durch die Leistungen der Arbeitskräfte beeinflusst. Wenn die Leistungsfähigkeit aufgrund der Hitzebelastung am Arbeitsplatz leidet, ist das auch für die Schweiz als Werkplatz von Bedeutung.

Hitze am Arbeitsplatz führt zu einem eingeschränkten Wohlbefinden, das sich in Schwächegefühl, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten usw. äussern kann. Diese Symptome erlauben es zwar, der Arbeit nachzugehen, jedoch verringern sie die Leistungsfähigkeit (FS1).

Das Risiko zunehmender Leistungseinbussen bei der Arbeit hängt eng mit dem Risiko der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit (vgl. Kapitel 3.1) zusammen. Leistungseinbussen treten ebenfalls während Hitzeperioden auf und hängen nicht nur von der Hitze während des Tages, sondern auch von Luftfeuchtigkeit, Wind und Sonneneinstrahlung ab (DEFRA 2012a).

Im Gegensatz zur generellen Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Hitze sind bei hitzebedingten Leistungseinbussen nicht in erster Linie ältere und schwächere Personen, sondern alle Arbeitenden betroffen. Für die Leistungsbeeinträchtigung ist einerseits der Arbeitsort, andererseits die Art der Arbeit relevant. Extreme Hitze beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit von Personen in Gebäuden mit einer schlechten Wärmedämmung oder fehlender Klimatisierung. Körperliche Aktivität während Hitzeperioden verschlimmert die gesundheitlichen Auswirkungen. Besonders betroffen sind deshalb Personen, die im Freien körperliche Arbeit verrichten. Hier besteht ein erhöhtes Risiko von Leistungseinbussen (FS7, EUA 2017, UNDP 2016).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Schon heute führen Hitzewellen bei viele Personen zu wesentlichen Beeinträchtigungen in ihrem Wohlbefinden und zu Leistungseinbussen (FS1). Das SECO (2007a, 2007b) schätzt, dass bei Schwerarbeit im Freien bereits ab 23 °C Leistungsabnahmen einsetzen, während Büroarbeit (im Sitzen) bis zu maximal 31 °C effizient verrichtet werden kann. Weitere Analysen gehen von einer verminderten Leistungsfähigkeit ab 26 °C aus und schätzen die Produktivitätsverluste zwischen 26 und 36 °C auf 3 bis 12 Prozent (Bux 2006, OcCC/ProClim 2007).

In Zukunft wird sich das Risiko der Leistungseinbussen während Hitzeperioden vergrössern. Eine bedeutende Zunahme des Risikos wird in den grossen Agglomerationen, im Mittelland und in der Südschweiz erwartet. Hingegen geht man in den Voralpen, den Alpen und im Jura von einer moderaten Zunahme des Risikos aus, da dort die zusätzliche Hitzebelastung weniger ausgeprägt ist (Abb. 9).

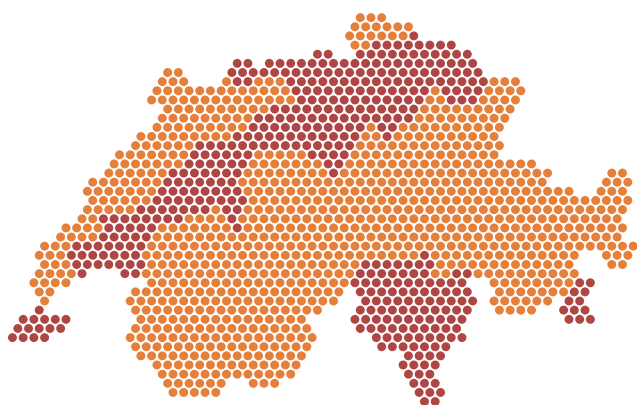
⁶ Die (nicht-prioritäre) Chance «Abnahme der Anzahl kältebedingter Krankheits- und Todesfälle» ist der Herausforderung «Verbesserung der Standortbedingungen» (Kapitel 12) zugeordnet.

Abbildung 9

Veränderung der Leistungseinbussen bei der Arbeit pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- moderat
- bedeutend



Für die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Verluste aufgrund von Leistungseinbussen in der Periode um 2060 sind nicht nur klimatische Veränderungen, sondern auch sozioökonomische Entwicklungen relevant. Der Einfluss solcher nicht klimatischer Faktoren ist ebenso bedeutend (FS2, FS4, FS7, FS8). Dazu gehören die Veränderung der Bruttowertschöpfung der Schweiz sowie deren Verteilung auf die Wirtschaftssektoren. Im tertiären Sektor arbeitende Personen sind generell weniger von Hitze betroffen. Ferner sind auch das Bevölkerungswachstum, die Veränderung der Altersstruktur und eine mögliche Erhöhung des Rentenalters zu berücksichtigen.

Zukünftige Änderungen im Verhalten der Arbeitenden und der Arbeitsbedingungen haben ebenfalls einen Einfluss. Für Arbeiten im Freien sind insbesondere die Möglichkeiten relevant, die Arbeitszeiten auf kühlere Tagesstunden zu verschieben, ausreichend Pausen einzuplanen und vorhandene Beschattung zu nutzen.

Bis 2060 könnte das thermische Wohlbefinden in Gebäuden durch die Installation von Klimaanlage und Optimierungen an der Gebäudehülle, die dem wärmeren Klima Rechnung tragen, verbessert werden (FS7, Brunner et al. 2008). Den zusätzlichen Kühlenergieverbrauch gilt es minimal zu halten, um Konflikte mit der Energiepolitik und eventuell zusätzliche Treibhausgasemissionen aus

der Stromproduktion zu vermeiden (BAFU 2012b, BAFU 2014a).

Zu beachten ist, dass einige dieser Entwicklungen zwar das Wohlbefinden der Arbeitskräfte verbessern und so zu verminderten Produktivitätsverlusten führen. Trotzdem können Mehrkosten entstehen für Klimatisierung oder höhere Löhne wegen nicht konventioneller Arbeitszeiten (FS7).

Das Risiko ist in den grossen Agglomerationen, im Mittelland und in der Südschweiz prioritär, da einerseits dort die grössten klimatischen Veränderungen erwartet werden und andererseits die sozioökonomische Entwicklung und mögliche Konflikte mit der Energiepolitik das Risiko verschärfen könnten (Abb. 10).

Abbildung 10

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Wie im Kapitel 3.1 erwähnt, kann der Mensch sich langfristig an höhere Temperaturen gewöhnen. Zudem existieren wirkungsvolle Massnahmen zur Verminderung von Leistungseinbussen. Die Sensibilisierung der Arbeitenden für ihr Verhalten und die Anpassung der Arbeitsbedingungen (Arbeitszeiten, Schutz vor Sonne, bauliche Massnahmen an Gebäuden) führen zu einer grossen Risikoreduktion (UNDP 2016).

Leistungseinbussen in Zahlen – Beispiel Tessin

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) des Kantons Tessin beträgt heute circa 27 Mrd. CHF. Die Fallstudie im Kanton Tessin schätzt die jährlichen Kosten aufgrund der hitzebedingten Abnahme der Arbeitsproduktivität im Kantonsgebiet auf heute ungefähr 5 Mio. CHF. Bei einem extremen Ereignis, wie zum Beispiel dem Sommer 2003, werden die Einbussen auf rund 30 Mio. CHF (rund 1 Promille des BIP) geschätzt. Um 2060 könnten die durchschnittlichen jährlichen Einbussen auf 33 Mio. CHF ansteigen.

(Quelle: FS7)

3.3 Zunahme des Kühlenergiebedarfs

Die mit dem Klimawandel einhergehenden höheren Temperaturen können zu einem erhöhten Kühlenergiebedarf führen (IPCC 2014). Dieser ist aus energie- und klimapolitischer Sicht unerwünscht (BAFU 2014a). Wird der zusätzliche Bedarf mit fossilen Energieträgern gedeckt, führt dies zu zusätzlichen CO₂-Emissionen und einer Verstärkung des Klimawandels. Stammt die Energie aus erneuerbarer Produktion, gilt es, diese möglichst sparsam zu nutzen.

Der Kühlenergiebedarf ist vor allem von der Temperatur abhängig, etwas weniger wird er durch Sonneneinstrahlung und Windstärke beeinflusst (Adelphi/PRC/EURAC 2015). Er setzt sich nebst der Raumkühlung aus der Kühlung von Strassen- und Schienenfahrzeugen, verderblichen Produkten, industriellen Prozessen sowie thermischen Kraftwerken zusammen. Für Gebäude und Transportmittel besteht ein Kühlbedarf vor allem während der Sommermonate, während gewisse Branchen ganzjährig kühlen. Letztere nutzen oft auch Grundwasser oder Wasser aus Seen und Flüssen zur Kühlung (FS2).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Im Jahr 2011 wurde 2,8 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs der Schweiz zur Raumkühlung verwendet (BFE 2015a). Gekühlte Flächen in Wohngebäuden sind heutzutage noch vernachlässigbar ($\leq 1\%$), jedoch beträgt ihr Anteil in Dienstleistungs- und Industriegebäuden ungefähr

20 Prozent (CH2014-Impacts 2014, FS2, FS4). Bei motorisierten Fahrzeugen werden durchschnittlich 3,1 Prozent des Kraftstoffverbrauchs zur Kühlung verwendet (Holt-Hausen et al. 2013b) und bei SBB-Zügen sind es ungefähr 6 Prozent des Energieverbrauchs (FS7).

Die Anzahl Kühlgradtage⁷ ist ein guter Indikator zur Abschätzung des Kühlenergiebedarfs. In tiefen Lagen nördlich der Alpen gibt es davon heute zwischen 100 und 200, in der Südschweiz 300 pro Jahr. In der Periode um das Jahr 2060 werden diese je nach Höhenlage um einen Faktor zwei bis fünf zunehmen, wobei die relative Zunahme in hohen Lagen grösser ist, jedoch die absolute kleiner (FS2 – FS5, FS7, FS8).

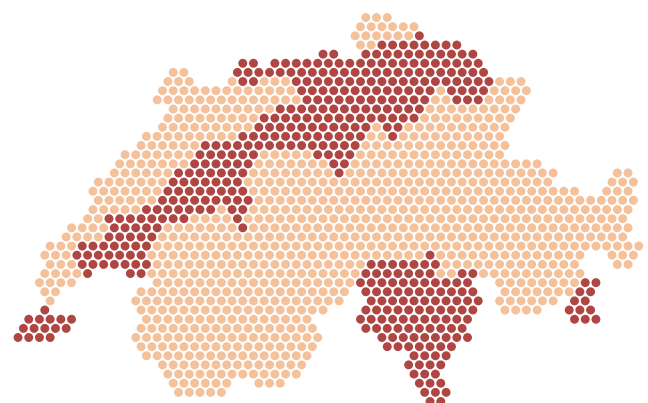
Eine bedeutende Zunahme des Kühlenergiebedarfs (ca. +130 %) wird in den grossen Agglomerationen, im Mittelland und in der Südschweiz erwartet. Für die höheren Lagen in den Voralpen, Alpen und im Jura geht man von einer geringen absoluten Zunahme aus (Abb. 11).

Abbildung 11

Veränderung des Kühlenergiebedarfs pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- bedeutend



Auch sozioökonomische Faktoren haben einen Einfluss auf die Entwicklung des Kühlenergiebedarfs. Das Bevölkerungswachstum, ein eventuell höherer Wohlstand und

⁷ Definition: Summe der Differenzen zwischen der Tagesmitteltemperatur und der Referenztemperatur 18,3°C (65°F) für Tage, an denen die Mitteltemperatur mindestens 18,3°C beträgt.

höhere Komfortansprüche führen zu dessen Zunahme (FS1 – FS4, FS6 – FS8). So könnte sich der Anteil gekühlter Flächen in Wohngebäuden bis im Zeitraum um 2060 auf 2 Prozent der gesamten Wohnfläche verdoppeln. Auch der Anteil in Dienstleistungsgebäuden könnte sich von ungefähr 20 auf 30 Prozent erhöhen. Der Kühlbedarf wird auch durch die Wärmedämmung der Gebäude und die Fassadengestaltung beeinflusst (Gonseth et al. 2017). Zudem wird erwartet, dass im Zeitraum um 2060 alle Fahrzeuge gekühlt werden (FS3). Dämpfend auf den Kühlenergiebedarf wirkt sich eine verbesserte Energieeffizienz bei Klimageräten aus. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Entwicklung des Energieverbrauchs sind die Energiepreise (FS1 – FS4, FS6 – FS8, EUA 2017).

Konsultierte Experten im Rahmen des Forschungsprojekts «Anpassungsfähigkeit der Schweiz an den Klimawandel» (Jörin et al. 2016) schätzten die Anpassungsfähigkeit im Sektor Energie generell tief ein. Als Grund werden die (noch) geringen Erfahrungen mit Hitze angegeben.

Der höhere Kühlenergiebedarf kreiert auch Zielkonflikte mit der Energie- und Klimapolitik und könnte im schlimmsten Fall zu Versorgungsengpässen führen (FS2). Zur Entlastung trägt bei, dass hoher Kühlenergiebedarf und Spitzenproduktion aus Fotovoltaikanlagen zeitlich oft zusammenfallen (FS7). Wird Wasser zum Kühlen benutzt, kann dies auch zu Konflikten mit der Biodiversität führen.

Das Risiko wird in der ganzen Schweiz als prioritär eingestuft, da, neben den klimatischen Veränderungen, die Zielkonflikte mit der Energie- und Klimapolitik sowie die tiefe Anpassungsfähigkeit für die ganze Schweiz relevant sind (Abb. 12).

Anpassungsmassnahmen

Es bestehen verschiedene Handlungsoptionen, um die Zunahme des Kühlenergiebedarfs einzudämmen. Einerseits kann der Kühlbedarf durch bauliche und planerische Massnahmen (Begrünung, Beschattung etc.) reduziert werden. Andererseits tragen auch effizientere Geräte und Installationen (reduzierte Abwärme) und das Verhalten der Bevölkerung (optimales Lüften) zu einer Begrenzung des Kühlbedarfs bei (FS7, FS8, OcCC/ProClim 2007).

Abbildung 12

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme des Kühlenergiebedarfs» prioritär ist



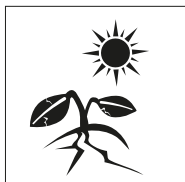
Kosten der Kühlung in den Kantonen Genf und Basel-Stadt

In den Fallstudien Basel-Stadt und Genf wurden die jährlichen Kosten zur Kühlung der Gebäude auf dem Kantonsgebiet abgeschätzt. Heute betragen diese ungefähr 3 Mio. CHF in Basel-Stadt und 36 Mio. CHF in Genf. Für den Zeitraum um 2060 rechnet man mit einer Zunahme der Kosten auf circa 7 respektive 88 Mio. CHF.

Die unterschiedlichen Zahlen von Basel und Genf (Faktor 10) würden bei vergleichbaren Energiepreisen nur um einen Faktor 5 differieren. Der verbleibende Unterschied erklärt sich durch die höhere Einwohnerzahl und mehr Rechenzentren im Kanton Genf.

(Quellen: FS2, FS4)

4 Zunehmende Trockenheit



- Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- Waldbrandgefahr
- Wasserknappheit
- Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion



Waldbrand bei Martigny (2012)

Foto: Maxime Schmid/Keystone

Da die Alpen über umfangreiche Wasserreserven verfügen und die Quellen zahlreicher grosser Ströme auf Schweizer Territorium liegen, wird die Schweiz auch als «Wasserschloss Europas» bezeichnet. Trotzdem kommen auch in der Schweiz einzelne Trockenperioden vor mit erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt und das Funktionieren von Wirtschaft und Gesellschaft.

Es gibt verschiedene Arten von Trockenheit, die auf unterschiedliche Prozesse zurückzuführen sind (Björnsen Gurung & Stähli 2014, Seneviratne 2012):

- meteorologische Trockenheit infolge eines Niederschlagsdefizits

- hydrologische Trockenheit aufgrund geringer Abflussmengen oder tiefer Grundwasserspiegel
- landwirtschaftliche Trockenheit, die mit einer ungenügenden Bodenfeuchte zusammenhängt (verursacht durch fehlende Niederschläge oder übermässige Evapotranspiration)

Obschon Trockenperioden oft mit Hitzewellen (FS7, BABS 2015a) oder lang anhaltenden Hochdruckwetterlagen zusammenfallen, lässt sich diese Korrelation nicht verallgemeinern. Trockenperioden können das ganze Jahr über und unabhängig von den Umgebungstemperaturen auftreten. Beispiele hierfür sind die Rekordtrockenheit im Dezember 2015 auf der Alpensüdseite und im Dezember

2016 im Mittelland (MeteoSchweiz 2016b, MeteoSchweiz 2017). Bei sommerlicher Trockenheit wirkt sich zusätzlich die erhöhte Verdunstung aus, und die Folgen können durch die Hitze verstärkt werden.

In der Schweiz tritt Trockenheit vor allem nach längeren niederschlagsfreien Perioden auf, insbesondere wenn ein heisser Sommer auf einen niederschlagsarmen Winter und Frühling folgt. In solchen Situationen ist die Speisung der Fliessgewässer aus der Schneedecke und dem Grundwasser besonders gering. Trockenperioden gehen dann mit Niedrigwasserabflüssen einher (Hydrologischer Atlas der Schweiz 2015, PLANAT 2016a). Tiefe Wasserstände werden häufig auch im Herbst und Winter registriert, wenn die Niederschläge in Form von Schnee fallen und daher nicht direkt über die Oberflächengewässer abfliessen.

Landwirtschaftliche Trockenheit ist ein Phänomen, das in der Schweiz in der Regel in den Sommermonaten zu

beobachtet ist. Zusammen mit der meteorologischen Trockenheit wirkt es sich auch auf die Wälder aus. Die Entstehung von hydrologischen und landwirtschaftlichen Trockenperioden zieht sich über einen relativ langen Zeitraum hin (mehrere Wochen bis mehrere Monate), da Grundwasserreserven und Bodenfeuchte langsam auf das Niederschlagsdefizit reagieren (Björnsen Gurung & Stähli 2014).

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Seit dem Sommer 2003 sind in der Schweiz vermehrt regionale und vorübergehende Situationen von Wasserknappheit aufgetreten (2006, 2011, 2015). Von Trockenperioden kann die ganze Schweiz betroffen sein, und innerhalb ein und derselben Region sind grosse Unterschiede feststellbar. Im Laufe der letzten Jahre waren die durch Trockenheit am stärksten gefährdeten Regionen die inneralpinen Trockentäler (Engadin, Wallis), der Jura sowie bestimmte Regionen der Kantone Freiburg, Waadt und Tessin (BAFU 2012d).

Abbildung 13

Zunehmende Trockenheit: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken



* Unter anderer Herausforderung diskutiert

Meteorologische Trockenheit: Infolge des Klimawandels werden Niederschläge in den Wintermonaten in Teilen der Schweiz tendenziell zunehmen und in den Sommermonaten tendenziell abnehmen. Aufgrund verminderter Sommerniederschläge dürften meteorologische Trockenperioden in Zukunft häufiger und intensiver werden (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Hydrologische Trockenheit: Der Klimawandel bewirkt nicht nur eine saisonale Umverteilung der Niederschläge, sondern auch die Verschiebung von festem (Schnee) zu flüssigem (Regen) Niederschlag. Weiter bewirkt er das Abschmelzen der Gletscher, die Abnahme der gespeicherten Wassermenge in der Schneedecke und eine steigende Schneefallgrenze⁸ (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Diese Faktoren führen tendenziell zu einer Verschiebung der Abflüsse vom Sommer und Herbst in den Winter und Frühling. In Kombination mit wenig Niederschlag im Sommer ist darum zu erwarten, dass längerfristig vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten häufigere und ausgeprägtere Niedrigwassersituationen auftreten.⁹ Speziell im Mittelland könnten die Niedrigwasserabflüsse geringer ausfallen und die Niedrigwasserperioden länger werden (BAFU 2012a).

Landwirtschaftliche Trockenheit: Der Anstieg der Temperaturen führt zu einer potenziell höheren Verdunstungsrate der Pflanzen. Damit steigt ihr Wasserbedarf, und gleichzeitig wird die Austrocknung des Bodens begünstigt. In Verbindung mit der Abnahme des Wassergehalts des Bodens aufgrund geringerer Niederschläge wird dieser Faktor die Wahrscheinlichkeit von landwirtschaftlicher Trockenheit erhöhen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Abbildung 13 zeigt die prioritären und nicht-prioritären Risiken aufgrund der Herausforderung «Zunehmende Trockenheit».

Trockenheit im Sommer 2015

Im Sommer 2015 folgte auf die von geringen Niederschlägen begleitete Hitzeperiode im Juli und August ein ausserordentlich niederschlagsarmer Herbst auf der Alpennordseite und ein trockenes Jahresende auf der Alpensüdseite (MeteoSchweiz 2016b). Die Folgen dieser Trockenperiode waren erheblich. Im August verendeten im Widenbach (Kanton Aargau) aufgrund der tiefen Wasserstände und der hohen Temperaturen zahlreiche Fische (Aargauer Zeitung 2015) und in vielen Kantonen mussten die Wasserentnahmen aus Fliessgewässern eingeschränkt werden (Tratschin et al. 2016). Zudem fielen grosse Ernteeinbussen bei Kartoffel- und Maiskulturen an, und eine Mehrheit der Kantone erliess ab Juli Feuerverbote im Wald, in Waldesnähe oder im Freien. Im Waadtländer Jura und in den Freiburger Voralpen musste die Viehtränkung auf manchen Alpen aufgrund des Wassermangels von Armeehelikoptern sichergestellt werden.

(Quelle: BAFU 2016b)

4.1 Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft steuert einen bescheidenen Anteil zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) der Schweiz bei. Bezüglich der Zahl der Arbeitsplätze stellt der Sektor etwa 3 Prozent des gesamtschweizerischen Totals (BFS 2016). Weit wichtiger ist seine Bedeutung für die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Ungefähr 60 Prozent des Nahrungsmittelverbrauchs wird mit inländisch hergestellten Produkten gedeckt. Zudem spielt die Landwirtschaft für die Erhaltung des kulturellen Erbes sowie für den Landschafts- und Umweltschutz eine wichtige Rolle (Faust et al. 2011). Die Landwirtschaft ist in den Kantonen des Mittellands besonders stark vertreten und produziert dort einen Grossteil der landwirtschaftlichen Erzeugnisse (BFS 2006). Auch in der Region Jura wird ein überdurchschnittlich grosser Teil der verfügbaren Fläche landwirtschaftlich genutzt.

Die Landwirtschaft ist hauptsächlich von der landwirtschaftlichen Trockenheit (siehe die Einleitung zu Kapitel 4) betroffen. In Trockenperioden ist für die Pflanzen we-

⁸ vgl. Kapitel 5

⁹ Ausnahmen bilden die von Gletschern gespeisten Flüsse. Dort könnte der sommerliche Abfluss bis Mitte des Jahrhunderts vorerst zunehmen und erst gegen Ende des Jahrhunderts abnehmen (BAFU 2012a).

niger Wasser im Boden verfügbar, was deren Wachstum beeinträchtigt und die Ernteerträge schmälert. Zudem erhöhen hohe Temperaturen die Transpiration der Pflanzen und verstärken so das Wasserdefizit (FS3). Neben der Quantität kann der Wassermangel auch die Qualität der Ernte beeinträchtigen (geringere Grösse der Früchte, kleinere Korngrössen, verfrühte Samenbildung beim Getreide usw.) (FS4, FS7). Weiterhin begünstigen Trockenperioden die Ausbreitung von bestimmten invasiven Arten und Schadorganismen (vgl. Kapitel 11.3).

Je nach Zeitpunkt der Trockenperioden im Jahresverlauf führen diese zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Kulturen. Im Herbst beeinträchtigt die Trockenheit hauptsächlich das Ausbringen der Wintersaaten und die Bearbeitung der Böden, und im Winter führt sie zu einer reduzierten Aufstockung der Wasserreserven im Boden. Im Frühjahr werden die Aussaat der Frühjahrskulturen, die Bearbeitung der Ackerflächen und die Stickstoffaufnahme der Winter- und Frühjahrskulturen gestört, und im Sommer beeinträchtigt die Trockenheit insbesondere die Wasserversorgung der Kulturen (Amigues et al. 2006).

Die Empfindlichkeit gegenüber Trockenheit variiert in Abhängigkeit von Kultur und Entwicklungsstadium (FS1, FS5, FS7; siehe auch Kasten zum Einfluss der Trockenheit). Nicht alle Kulturen leiden unter der Trockenheit. Trockenheitstolerante Kulturen können in trockenen Jahren sogar höhere Erträge abwerfen.

Trockenperioden gefährden auch die Futtermittelproduktion und damit die Produktion von tierischen Erzeugnissen. Sie können die Versorgung von Nutztieren mit Wasser erschweren, in Extremfällen kann es zur Dehydrierung und zum Tod von Tieren kommen (FS3, FS5, FS6). Wenn Trockenheit und Hitze zusammenfallen, bedeutet dies einen zusätzlichen Stress, der beispielsweise bei Milchkühen zu einer geringeren Milchproduktion führt (Führer & Calanca 2012).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Schon heute ist die Landwirtschaft von Trockenperioden betroffen. Trockenheit stellt für sie ein erhebliches Risiko dar. Im Jahr 2003 sanken die Ernteerträge in der Schweiz um durchschnittlich 20 Prozent, was einem landeswei-

ten wirtschaftlichen Verlust von 500 Mio. CHF entspricht (Führer & Jasper 2009). Zahlreiche landwirtschaftliche Flächen sind regelmässig und während Zeiträumen, die von einigen Wochen bis zu mehreren Monaten dauern können, erhöhter Trockenheit ausgesetzt.

Heisse und trockene Sommer dürften in Zukunft häufiger werden (MeteoSchweiz 2014a) und zunehmende Verluste verursachen. Die mögliche Zunahme von Extremereignissen (Trockenheit, aber auch Hitzewellen, Starkniederschläge, Überschwemmungen usw.) kann auch zu einer Verminderung der Fruchtbarkeit der Böden und zu einer verstärkten Auswaschung oder Erosion führen (BLW 2011). Zudem dürften mit häufigeren Trockenperioden die Betriebskosten in der Landwirtschaft ansteigen, unter anderem weil höhere Kosten für die Bewässerung und die Schädlingsbekämpfung anfallen (FS7).¹⁰

Die Auswirkungen des Klimawandels führen zu einer bedeutenden Zunahme des Risikos im Mittelland. Im Jura, wo der Karst-Untergrund bereits heute eine geringe Speicherkapazität aufweist, wird eine moderate Zunahme des Risikos erwartet. In den höheren Lagen (Voralpen und Alpen), wo die Niederschläge ergiebiger sind, sowie in der Südschweiz wird mit einem geringen Anstieg des Risikos gerechnet (Abb. 14).

Der Landwirtschaftssektor ist stark von den Marktbedingungen und weiteren sozioökonomischen Parametern abhängig. Landwirtschaftliche Flächen werden in zunehmendem Ausmass durch die Bautätigkeit bedrängt (FS4, FS7, FS8). Die Entwicklung der Nahrungsmittelpreise ist ein weiterer wichtiger Faktor für die landwirtschaftliche Produktion. Internationale Freihandelsabkommen verschlechtern die Konkurrenzfähigkeit der im Inland produzierten Nahrungsmittel (FS3, FS4, FS6, FS8, OcCC/ProClim 2007). Die kombinierten Effekte dieser Entwicklungen und die Auswirkungen des Klimawandels verstärken den Druck, unter dem der Landwirtschaftssektor heute schon steht (FS8). Die Ausgestaltung der Agrarpolitik kann dazu beitragen, die negativen Auswirkungen der Klimaveränderungen abzufedern und die Anpassung des Sektors zu begünstigen (FS3, FS6, FS8, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

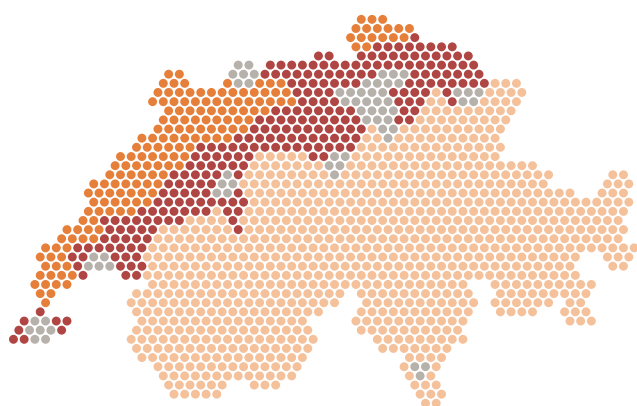
¹⁰ Weitere klimabedingte Veränderungen, die den Sektor Landwirtschaft betreffen, sind im Kapitel 11.2 und 12.3 beschrieben.

Abbildung 14

Veränderung der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft pro
Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- bedeutend
- nicht relevant



Aufgrund der klimatischen und sozioökonomischen Tendenzen und der Bedeutung des Agrarsektors wurde das Risiko für das Mittelland und den Jura als prioritär eingestuft (Abb. 15).

Abbildung 15

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Um die Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu begrenzen, sind verschiedene Massnahmen möglich. Die wichtigste besteht in der Bewässerung der Kulturen (siehe nachstehender Kasten). Ausserdem können standortangepasste Kulturen angebaut werden (FS3). In der Viehwirtschaft ermöglicht eine optimale Grünlandnutzung, die Verluste zu minimieren (Grasschnitt im richtigen Entwicklungsstadium, Management der Weideflächen unter Berücksichtigung des Wachstums der Gräser usw.) (Mosi-mann 2016). Auch die Sicherung der Wasserversorgung auf Sömmerungsalpen, die Vorratshaltung von Futter und das Abstimmen der Tierbestände auf das reduzierte Futterangebot sind geeignete Anpassungsmassnahmen. Der Aufbau von Monitoring- und Frühwarnsystemen sowie die Sensibilisierung der Landwirte sind weitere Massnahmen, die es erlauben, die mit der Trockenheit verbundenen Risiken in der Landwirtschaft auf ein Minimum zu begrenzen (BAFU 2014a).

Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft

Gemäss einer Umfrage aus dem Jahr 2006 werden in der Schweiz 43 000 ha oder weniger als 5 Prozent der gesamten Anbaufläche regelmässig und weitere 12 000 ha in Trockenjahren bewässert. Für Trockenjahre wird der Wasserbedarf 2006 auf 144 Mio. m³ geschätzt (Weber & Schild 2007). Der Bewässerungsbedarf ist im Mittelland, der Westschweiz sowie in den inneralpinen Trockentälern besonders gross (Fuhrer 2010). Die schweizerische Landwirtschaft braucht für die Bewässerung 12 Prozent des Gesamtwasserbedarfs der Schweiz.

Im Kanton Freiburg hat sich der Bewässerungsbedarf im Hitzesommer 2003 vervierfacht; er stieg von 10,4 Mio. m³ in normalen Jahren auf 40,6 Mio. m³ (Fuhrer 2010).

Aufgrund des Klimawandels wird ein Anstieg des Wasserbedarfs für Bewässerungszwecke erwartet, was negative wirtschaftliche und ökologische Folgen haben dürfte und in bestimmten Fällen lokal zu Wassernutzungskonflikten führen könnte (Fuhrer 2010; vgl. Kapitel 4.3). In der Schweiz könnte der Bewässerungsbedarf bis 2050 je nach Region bis auf das Fünffache ansteigen (LID 2014).

Einfluss der Trockenheit auf landwirtschaftliche Kulturen

Der Landwirtschaftssektor hat im Sommer 2015, der sowohl von hohen Temperaturen als auch von einem hydrologischen Defizit geprägt war, stark gelitten. Beim Jahresertrag von Wiesen und Weideflächen in den westlichen Landesteilen wurden Einbussen von 15 bis 35 Prozent verzeichnet. Auch Karotten und Mais litten unter den klimatischen Bedingungen; die Ernteeinbussen betrugen hier 15 respektive 18 Prozent (im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 2000–2014). Andere Kulturen gediehen unter diesen Bedingungen überdurchschnittlich gut. Beim Raps und bei der Gerste lagen die Erträge 16 respektive 11 Prozent über dem Mittel der Jahre 2000–2014. Die Zuckerrüben stellten einen Sonderfall dar: Die geerntete Menge lag 12 Prozent unter dem langjährigen Durchschnitt, der Zuckergehalt der Rüben war aber ungewöhnlich hoch, sodass nach der Verarbeitung ein hoher Zuckerertrag resultierte.

(Quellen: Mosimann 2016, BAFU 2016b)

4.2 Zunahme der Waldbrandgefahr

Waldbrände können verheerende Folgen für Waldökosysteme haben. Da der Wald wichtige Ökosystemleistungen wie z. B. Schutz vor Naturgefahren erbringt, ist es notwendig, das Risiko von Waldbränden zu begrenzen und einmal ausgebrochene Brände rasch unter Kontrolle zu bringen.

Waldbrände entstehen am häufigsten in der Südschweiz und in den inneralpinen Trockentälern (Wastl et al. 2013). Von Waldbränden besonders betroffene Regionen sind das Tessin, das Wallis, das Bündnerland sowie Föhngebiete auf der Alpennordseite. Im Laufe der letzten 20 Jahre ereigneten sich 95 Prozent aller in der Schweiz registrierten Waldbrände im Kanton Tessin (FS7).

Die Brandanfälligkeit hängt von der Verfügbarkeit von brennbarem Material und von meteorologischen Parametern wie Feuchtigkeit, Temperatur, Niederschlag, Windstärke sowie von der Dauer der Schneebedeckung

ab (Kaulfuss 2016). Waldbrände können das ganze Jahr über ausbrechen. Normalerweise steigt die Waldbrandgefahr (in den schneefreien Regionen) Anfang Jahr an. Ende April, Anfang Mai erreicht sie einen ersten Höhepunkt, da das Ende des Winters und der Frühlingsanfang die trockensten Perioden des Jahres sind und der Föhn die Streudecke in den Wäldern austrocknet (Pluess et al. 2016, Reinhard et al. 2005). In den Sommermonaten nimmt die Gefahr, in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen, erneut zu (Kaulfuss 2016).

Waldbrände können auf natürliche Art durch Blitzschlag entfacht werden, sind jedoch in den meisten Fällen anthropogenen Ursprungs (Fahrlässigkeit oder vorsätzliche Taten) (Wastl et al. 2013). In beiden Fällen wird der Ausbruch der Brände direkt oder indirekt durch die klimatischen und meteorologischen Bedingungen (Art der Vegetation, Feuchtigkeitsgrad usw.) beeinflusst (Pluess et al. 2016). Zwischen 1991 und 2003 waren im Tessin rund 70 Prozent der Waldbrände im Sommer und circa 90 Prozent der Waldbrände im Winter auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen (Conedera & Pezzati 2005). Durch Blitzschlag entfachte Brände betreffen in der Regel die Wälder in hohen Lagen, während die Brände in tieferen Lagen sehr oft durch menschliche Aktivitäten ausgelöst werden (Conedera et al. 2006). Der Höhepunkt im Frühjahr ist mehrheitlich durch kleinere, vom Menschen verursachte Brände in tieferen Lagen gekennzeichnet, während der Höhepunkt im Sommer durch grössere Brände infolge Blitzschlags geprägt ist (Valese et al. 2011).

Waldbrände verursachen betriebs- und volkswirtschaftliche Verluste, da ihnen einerseits grosse Mengen Holz zum Opfer fallen und andererseits Kosten für die Löscharbeiten und die Wiederaufforstung entstehen (FS1, FS3, FS4). Durch die Veränderung der Entwicklungsstadien der Wälder – indem der Anteil an Jungwald zunimmt – wird die Schutz- und Erholungsfunktion beeinträchtigt (FS3–FS7). Schutzwälder, die sich in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, sind gegen Steinschlag und Erosion weniger effektiv. Auf den durch Waldbrände freigelegten Böden steigt der Einfluss der Erosion (FS1, FS3–FS6; vgl. Kapitel 9.2). Waldbrände setzen grosse Mengen CO₂ frei und vermindern, je nach Altersstruktur des Baumbestands, die CO₂-Speicherleistung des Waldes (FS1, FS4, FS6). Weiter können diese Ereignisse auch

Schäden an Fahrhabe¹¹ sowie an Infrastrukturen und Gebäuden verursachen.

Waldbrände können sich positiv auf die Biodiversität auswirken (FS6), da die Zahl der Tier- und Pflanzenarten nach einem solchen Ereignis zunimmt. Andererseits können die Bedingungen nach einem Waldbrand in manchen Fällen auch die Ausbreitung von Schadorganismen fördern (vgl. Kapitel 11.3), wodurch die Waldfunktionen zusätzlich beeinträchtigt werden (FS7).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Im Laufe der letzten 100 Jahre ist die Zahl der Waldbrände anthropogenen Ursprungs in den Alpenregionen gestiegen. Insgesamt stellte man jedoch seit den 1980er-Jahren eine Abnahme sowohl der Häufigkeit von Waldbränden als auch der zerstörten Flächen fest, was höchstwahrscheinlich auf Präventionsmassnahmen und die Verbesserung der Methoden zur Waldbrandbekämpfung zurückzuführen ist (Valese et al. 2011). In letzter Zeit treten Waldbrände auf der Alpennordseite vermehrt auf. Da dieser Landesteil in der Vergangenheit nur wenig von Brandereignissen betroffen war, ist das Risikobewusstsein hier noch wenig ausgebildet und es konnte sich mehr Totholz ansammeln (Pluess et al. 2016).

Da die Trockenheit ein Faktor ist, der das Ausbrechen von Waldbränden begünstigt, dürfte die Zunahme der Häufigkeit und Intensität der Trockenperioden die Eintrittswahrscheinlichkeit von Waldbränden insgesamt erhöhen. Diese Erhöhung wird indes nicht in allen Regionen gleich hoch sein. In den inneralpinen Trockentälern (wie etwa dem Rhonetal oder dem Engadin) wird die Wahrscheinlichkeit des Ausbrechens von Waldbränden infolge der Zunahme der sommerlichen Trockenperioden moderat ansteigen. Es ist davon auszugehen, dass das Waldbrandrisiko auch in Gebieten weiter nördlich zunehmen wird, jedoch nicht in gleichem Umfang. Die Zunahme der Trockenperioden erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Waldbrände auch in derzeit noch feuchteren Regionen mit bis zu 1100 mm Niederschlag pro Jahr ausbrechen, falls die sommerlichen Niederschläge – wie von den Klimamodellen projiziert – in diesen Regionen abnehmen (Wohlgemuth et al. 2010). Bei den winterlichen Waldbränden sind laut den

Modellen keine signifikanten Veränderungen zu erwarten (Pluess et al. 2016).

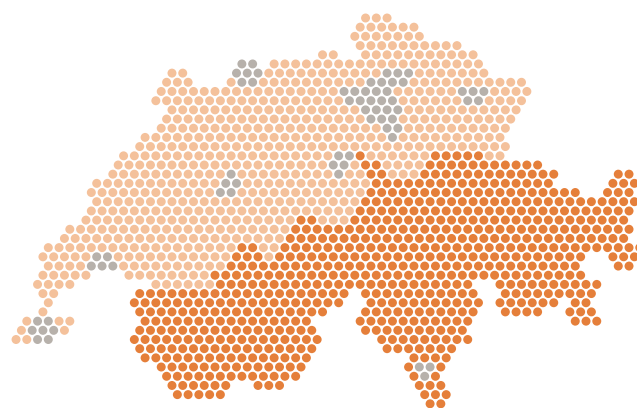
Der Anstieg der Waldbrandgefahr ist in den Alpen und in der Südschweiz – den von solchen Ereignissen am stärksten betroffenen Regionen – moderat. Im Tessin wird ein Anstieg der Zahl der Waldbrände um 25 Prozent erwartet (FS7). In der übrigen Schweiz (mit Ausnahme der Agglomerationen, wo dieses Risiko nicht relevant ist) dürfte der Anstieg des Risikos aufgrund des Klimawandels gering sein (Abb. 16).

Abbildung 16

Veränderung der Waldbrandgefahr pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- nicht relevant



Im Laufe der letzten Jahrzehnte hat sich die Waldwirtschaft wie auch die Landwirtschaft in den Bergen verändert. So wird heute mehr totes Holz in den Wäldern belassen, und die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Berggebiet nehmen ab mit der Folge, dass sich der Wald im Weideland ausbreitet. Die Entwicklungen führen zu einer Zunahme der brennbaren Biomasse.

Weiter bewirkt das Bevölkerungswachstum sowie der Anstieg der Temperaturen, dass sich mehr Personen im Freien aufhalten, womit die Wahrscheinlichkeit von anthropogen bedingten Waldbränden steigt (Grillieren im Freien, Zigarettenglut usw.). Häufigere und breiter gestreute Waldbrandwarnungen von Bund und Kantonen

¹¹ Mit Fahrhabe werden die beweglichen Gegenstände im Gegensatz zum Gebäude bezeichnet.

dürften aber dazu beitragen, dass die Bevölkerung ein Bewusstsein für diese Gefahren entwickelt und ihr Verhalten anpasst (FS8).

Das Ausmass der durch Waldbrände verursachten Sachschäden hängt vom Wert der betroffenen Güter ab, die wiederum von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig sind. Weitreichendere Schäden können auftreten, wenn kritische Infrastrukturen (beispielsweise im Bereich der Energieversorgung) betroffen sind.

Die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel im Sektor Waldwirtschaft wird generell eher hoch eingeschätzt (Jörin et al. 2016). Knappe finanzielle Mittel aufgrund der tiefen Holzpreise stellen jedoch ein relevantes Hindernis dar.

Die Zunahme der Waldbrandgefahr wird in den Alpen, in der Südschweiz und im Jura als ein prioritäres Risiko eingestuft. Gründe hierfür sind die klimatischen Veränderungen, die erwartete sozioökonomische Entwicklung, die mögliche Betroffenheit von kritischen Infrastrukturen und die trockenen Böden (Karst) in weiten Teilen des Juras (Abb. 17).

Abbildung 17

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Waldbrandgefahr» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Massnahmen wie z. B. strikte Feuerverbote im Freien, die Errichtung von Löschwasserbecken und das Anlegen von Erschliessungsstrassen tragen dazu bei, das Risiko von Feuersbrüchen zu reduzieren bzw. die Waldbrandbe-

kämpfung zu erleichtern. In den von Waldbränden besonders stark betroffenen Regionen ist ein umfassendes Konzept zur Waldbrandbekämpfung erforderlich (Kanton Wallis 2009). Bereits in der Vergangenheit stark betroffene Regionen verfügen in der Regel über entsprechende Dispositive. Ein Konzept muss präventive Massnahmen, Monitoring-Massnahmen, organisatorische Massnahmen für Feuerwehreinätze sowie Massnahmen zur Verbesserung der Infrastruktur (z. B. Zugang zum Löschwasser) beinhalten (Wohlgemuth et al. 2010).

Kosten von Waldbränden

Die anhaltende Trockenheit im Jahr 1997 führte zu vielen Waldbrandausbrüchen im Tessin. Für den Kanton kosteten die Löscharbeiten 4,3 Mio. CHF und die waldbaulichen Massnahmen 5,7 Mio. CHF. In einem durchschnittlichen Jahr betragen die Kosten je circa 1 Mio. CHF (FS7).

Nach dem Waldbrand von Leuk (VS) im Jahr 2003 waren umfangreiche Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren und zur Pflege des Jungwalds erforderlich. Die Gesamtkosten bis 2007 betrugen circa 2,5 Mio. CHF (PLANAT 2017b).

4.3 Zunahme der Wasserknappheit

Wasserressourcen werden vielfältig genutzt, unter anderem für die Trinkwasserversorgung, die Abwasserentsorgung, Kühl- und Heizzwecke, die Wasserkraftproduktion, die Bewässerung, die Industrieproduktion, die Rohstoffgewinnung, die Kunstschneeproduktion, den Gütertransport und die Brandbekämpfung. Wasserlebewesen sind auf einen ausreichend hohen Wasserstand und eine gute Wasserqualität angewiesen (BAFU 2012d).

Obwohl die Ressource Wasser in der Schweiz im Überfluss verfügbar zu sein scheint, kommt es lokal immer häufiger zu Situationen vorübergehender Wasserknappheit. Zu den möglichen Folgen gehören Einschränkungen bei bestimmten Wassernutzungen und Stress für die aquatischen Ökosysteme.

Wasserknappheit ist ein Zustand, der von einem Ungleichgewicht zwischen der Verfügbarkeit der Ressource und des Bedarfs der verschiedenen Nutzergruppen gekennzeichnet ist. In Zeiten der Verknappung reichen die verfügbaren Ressourcen nicht aus, um die Nachfrage für die verschiedenen Wassernutzungen und den Bedarf der verschiedenen Ökosysteme zu decken (BAFU 2012d). Solche Situationen ergeben sich insbesondere während Trockenperioden (Dübendorfer et al. 2016). Konflikte um Schutz und Nutzung der Wasserressourcen treten vor allem entlang von kleinen und mittleren Gewässern auf, die den grössten Teil des Gewässernetzes ausmachen.

Niedrigwasserstände, hohe Wassertemperaturen und eine schlechte Wasserqualität aufgrund von hohen Schadstoffkonzentrationen können schwere Folgen für Wasserlebewesen haben (vgl. Kapitel 9.1 und 10.1.1). Zum Schutz der aquatischen Ökosysteme müssen darum bei Knappheitssituationen Wassernutzungsansprüche eingeschränkt werden. Knappheitssituationen zeigen sich typischerweise als Konflikte zwischen gewässerökologischen Schutz- und Wassernutzungsansprüchen (Björnsen Gurung & Stähli 2014). Beispielsweise wenn in Zeiten niedriger Wasserstände oder hoher Wassertemperaturen:

- Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung die Wasserstände von Gewässern senken und die Wassertemperaturen erhöhen (FS6);
- die Wassernutzung für Kühlzwecke die bereits erhöhte Wassertemperatur (aufgrund tiefer Wasserstände und hoher Lufttemperaturen) zusätzlich erhöht (FS2);
- die Wassernutzung für die Stromproduktion die Gewährleistung einer minimalen Restwassermenge in den Fliessgewässern gefährdet (FS7);
- Abwässer in ein Fliessgewässer eingeleitet werden und dabei die Wasserqualität beeinträchtigen (geringer Verdünnungsgrad).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Wie die Ereignisse 2003 und 2015 gezeigt haben, kommt es in der Schweiz höchst selten zu Engpässen in der Trinkwasserversorgung (BUWAL et al. 2004, Tratschin et al. 2016). In Konkurrenz zur Trinkwasserversorgung können aber die Bewässerung oder die Beschneigung stehen. Beispielsweise stammt im Kanton Graubünden ein Drittel des zur Bewässerung eingesetzten Wassers

aus dem Trinkwassernetz (FS5), und in der Bündner Gemeinde Scuol entspricht die zur Kunstschneeproduktion verbrauchte Wassermenge 36,2 Prozent des gesamten Trinkwasserverbrauchs der Gemeinde (Rixen et al. 2011).

Situationen von Wasserknappheit dürften mit fortschreitendem Klimawandel häufiger und ausgeprägter auftreten. Insbesondere im Sommer können sich die unterschiedlichen Folgen des Klimawandels – zunehmende meteorologische Trockenheit und reduziertes Schmelzwasserdargebot (siehe die Einleitung zu Kapitel 4) – überlagern. Die Tatsache, dass der Wasserbedarf während Trockenperioden in bestimmten Sektoren steigt (z. B. für die Bewässerung) und zudem die Wassertemperaturen kritische Werte erreichen können, wird das Konfliktpotenzial bei der Wassernutzung zusätzlich erhöhen.

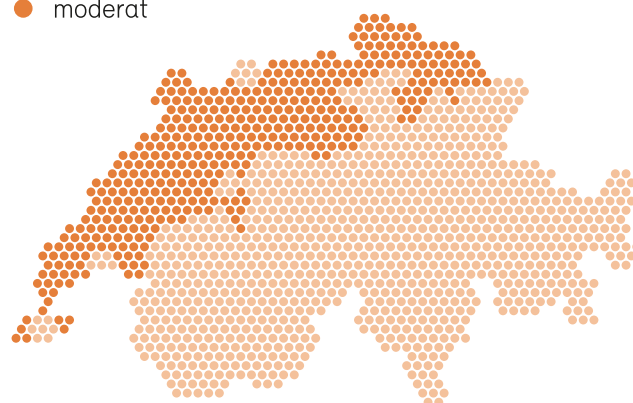
Eine moderate Zunahme des Risikos aufgrund klimatischer Veränderungen wird im Jura und im Mittelland erwartet. Der Jura ist stark von Niederschlägen abhängig, da die karstigen Böden kaum Wasser zurückhalten. Im Mittelland muss mit einer Abnahme des Wasserdargebots aus der Schneedecke, einer Zunahme der Verdunstung in den Sommermonaten und gleichzeitig einem hohen Nutzungsdruck gerechnet werden. Hingegen dürfte das Risiko einer Wasserknappheit in den grossen Agglomerationen, den Voralpen, den Alpen und in der Südschweiz gegenüber heute nur in geringem Masse zunehmen (Abb. 18).

Abbildung 18

Veränderung der Wasserknappheit pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat



Neben dem Klimawandel wird die Verfügbarkeit von qualitativ einwandfreiem Wasser stark durch sozioökonomische Faktoren beeinflusst. So erhöhen das Bevölkerungswachstum, der Siedlungsdruck, die Bautätigkeit in Wasserschutzgebieten oder der steigende Bewässerungsbedarf den Druck auf die Wasserressourcen (Björnsen Gurung & Stähli 2014).

Für die Wasserlebewesen können sich irreversible Folgen ergeben, wenn der Wasserstand in fliessenden oder stehenden Gewässern so tief sinkt, dass der Fortbestand der Arten bedroht ist.

Da Wasserknappheit auch kritische Infrastrukturen betreffen kann, durch sozioökonomische Einflüsse verschärft wird und im schlimmsten Fall zu irreversiblen Schäden an der Biodiversität führen könnte, ist das Risiko in allen Regionen der Schweiz prioritär (Abb. 19).

Abbildung 19

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Wasserknappheit» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Mit einem vorausschauenden, regionalen Management der Wasserressourcen kann das Risiko von Wasserknappheit und Wassernutzungskonflikten reduziert werden (BAFU 2012d, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Die Risikogebiete können identifiziert (Chaix et al. 2016) und die Wasserressourcen langfristig bewirtschaftet werden (Wehse et al. 2017). Je nach Problemlage bieten sich verschiedene Massnahmen an. Bei der Trinkwasserversorgung ist die Vernetzung der Wasserver-

sorgungssysteme oder die Erschliessung unabhängiger Quellen zentral (FS7, BAFU 2014d). Weitere Möglichkeiten bestehen beispielsweise in der Mehrfachnutzung bestehender Reservoirs oder im Bau von Rückhaltebecken (FS7, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, Wehse et al. 2017, Nauser 2016). Schliesslich gibt es für die Bewältigung akuter Situationen der Wasserknappheit eine breite Palette bewährter Massnahmen aus der Praxis (Dübendorfer et al. 2016).

Die oft kleinräumigen Strukturen der Schweiz und die Vielzahl der Interessen an der Ressource Wasser erfordern eine regionale, sektorübergreifende Zusammenarbeit (Kwiatkowski & Höchli 2016), was die Umsetzung von Anpassungsmassnahmen erschwert (Jörin et al. 2016). Unterstützung leistet der Bund, indem er Hilfsmittel für das regionale Wasserressourcenmanagement bereitstellt.¹²

Trinkwasserknappheit im Kanton Jura und Wasserkonflikte im Kanton Thurgau

Im Sommer 2003 mussten im Kanton Jura provisorische Notverbindungen zwischen verschiedenen Trinkwasserversorgungsnetzen errichtet werden, um die Versorgung von abgelegenen Orten sicherzustellen. Zudem mussten im gleichen Sommer sowie im Sommer und Herbst 2015 einige Wohnhäuser und Bauernhöfe über Strassentransporte mit Wasser versorgt werden (FS6).

Der Kanton Thurgau hat aufgrund unbefriedigender Erfahrungen klare Spielregeln für den Umgang mit Wasserknappheit geschaffen. Er kommuniziert heute bei einer sich abzeichnenden Verknappung der Wasserressourcen frühzeitig und differenziert. Zudem wurden der Wasserbedarf der Landwirtschaft und das künftige Wasserdargebot um das Jahr 2060 bei fortgeschrittenem Klimawandel abgeschätzt. Damit verfügt der Kanton über Grundlagen für die langfristige Planung (BAFU 2017c).

12 www.bafu.admin.ch/wasserressourcenmanagement

4.4 Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion

Die Chancen einer Steigerung der winterlichen Wasserkraftproduktion in bestimmten Regionen (vgl. Kapitel 5.2) sind mit Blick auf die Abnahme der Produktion in den sommerlichen Trockenperioden zu relativieren. In diesen Perioden führen die sinkenden Abflussmengen mitunter zu einer Einschränkung der Wasserkraftproduktion, da auch die Einhaltung ökologischer Schwellenwerte (minimale Restwassermenge) gewährleistet werden muss (FS7).

Zudem werden manche Einzugsgebiete in den Sommermonaten stark durch das Abschmelzen der Gletscher beeinflusst. Mit dem fortschreitenden Rückzug der Gletscher ändert sich auch das Abflussregime der Fließgewässer und damit die Verfügbarkeit der Wasserressourcen für die Stromproduktion: Steigen die Abflussmengen aufgrund der Eisschmelze in einer ersten Phase an, so muss danach, wenn die Gletschermassen bereits stark abgenommen haben, mit einer deutlichen Abnahme gerechnet werden (FS8, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

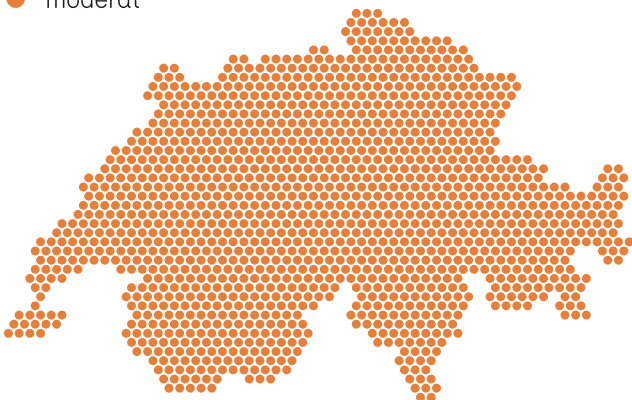
Der Klimawandel führt somit zu zeitlich und lokal differenzierten Auswirkungen auf die Wasserkraftproduktion. Moderate Veränderungen sind aber in allen Grossräumen zu erwarten (Abb. 20).

Abbildung 20

Veränderung der sommerlichen Wasserkraftproduktion pro
Grossraum

Zunahme des Risikos:

● moderat



Diese Einschränkung der Wasserkraftproduktion während Trockenperioden stellt in der ganzen Schweiz ein prioritäres Risiko dar (Abb. 21).

Abbildung 21

Grossräume, in welchen das Risiko «Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion» prioritär ist



5 Steigende Schneefallgrenze



- Ertragseinbussen beim Wintertourismus
- Zunahme der winterlichen Energieproduktion
- Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten



Warmes Wetter in Verbier im Dezember (2011)

Foto: Anja Niedringhaus/Keystone/AP Photo

Die Schweiz ist ein Land, das sich durch seine topografische Vielfalt auszeichnet. Die Hälfte der Landesfläche liegt auf einer Höhe von über 1000 Meter über Meer und nahezu ein Viertel auf einer Höhe von über 2000 Meter. Als Folge davon fällt ein Drittel der landesweiten Niederschläge in Form von Schnee (Jonas 2012).

Schnee ist eine wichtige Ressource, sowohl für die natürliche Umwelt (z. B. Schutzfunktion für die Vegetation) als auch für die Gesellschaft und deren wirtschaftliche Aktivitäten (z. B. Wintertourismus, Wasserkraftproduktion, Trinkwasserspeicher). Er kann aber auch eine erhebliche Gefahr darstellen, wenn er Lawinen, Strassenverkehrsunfälle oder Sachschäden an Gebäuden (ausgelöst durch

die Schneelast) verursacht (Klein et al. 2016, Scherrer & Appenzeller 2004).

Die Lage der Schneefallgrenze beeinflusst die Verteilung und Dauer der Schneebedeckung. Diese hat wiederum massgeblichen Einfluss auf die Entwicklung der Gletscher und das Auftreten von Lawinen. Verschiebungen zwischen Niederschlägen in Form von Schnee oder Regen und der Zustand der Gletscher beeinflussen ihrerseits das Abflussregime der Fliessgewässer, die im Alpenraum entspringen.

Schneebedeckung und -höhe: Der Klimawandel wirkt sich bereits heute deutlich aus, sowohl auf die Dauer der

Schneebedeckung als auch auf die maximale Schneehöhe. Die Schneesaison (definiert als die durchschnittliche Dauer der Schneebedeckung) beginnt heute im Mittel 12 Tage später als 1970 und endet 26 Tage früher. Gleichzeitig hat die maximale Schneehöhe je nach Region um 4 bis 11 Prozent abgenommen (Klein et al. 2016). Diese Entwicklungen sind auf den Temperaturanstieg zurückzuführen, der die winterliche Schneeakkumulation senkt (mehr Regen statt Schnee) sowie den Prozess der Schneeschmelze beschleunigt (Serquet et al. 2011, Scherrer & Appenzeller 2004, Marty 2008, Scherrer et al. 2013). Gleichzeitig ist die Dauer der Schneebedeckung starken jährlichen, dekadischen und regionalen Schwankungen unterworfen (Beniston 2012, Scherrer et al. 2013). So hat zum Beispiel der südliche Alpenhauptkamm in den Jahren 2013/2014 bis 2015/2016 drei strenge Winter in Serie erlebt.

Bis zum Ende dieses Jahrhunderts projizieren die Klimamodelle eine gegenüber den heutigen Werten um 4 bis 8 Wochen verkürzte Dauer der Schneebedeckung. Zudem projizieren sie einen Anstieg der Schneefallgrenze um 500 bis 700 Meter (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, Steger et al. 2013, Marty et al. 2017). Trotzdem sind schneereiche oder besonders kalte Winter auch in Zukunft nicht auszuschliessen.

Gletscher: Die Schneefälle und ihre räumliche Verteilung beeinflussen den Zustand der Gletscher. Im oberen Teil eines Gletschers, wo die Temperatur ganzjährig unter 0°C liegt, sammelt sich der gefallene Schnee und verdichtet sich unter dem Einfluss seines Eigengewichts zu Eis. Der Schnee nährt damit den Gletscher. Im unteren Teil des Gletschers, wo die Temperaturen zeitweise über 0°C liegen, schmilzt die winterliche Schneedecke im Laufe des Sommers ab. Wenn die angehäuften Schneemenge grösser ist als die geschmolzene Menge, wächst der Gletscher; im gegenteiligen Fall bildet er sich zurück.

In den Schweizer Alpen befinden sich fast 2000 Gletscher, die eine Fläche von rund 1000 km² bedecken (BAFU 2012a) und insgesamt 2,5 Prozent der Landesfläche ausmachen. Am Ende der «Kleinen Eiszeit» im Jahr 1850 betrug ihre Fläche noch rund 1800 km². Der seither erfolgte Gletscherrückgang entspricht einem Volumenverlust von rund 50 Prozent (BAFU 2012a).

Das Abschmelzen der Gletscher ist eine der offensichtlichsten Folgen des Klimawandels in der Schweiz. Die Abnahme der Schneefälle und insbesondere der Anstieg der Temperaturen führen zum Rückgang der Gletscher. Vor allem die höheren Temperaturen im Frühjahr und im Herbst tragen dazu bei, dass die Gletscher abschmelzen, da sie den Zeitraum verlängern, in dem eine Schneedecke auf den Gletschern fehlt und das Eis an der Oberfläche unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung auftauft (Bauder et al. 2007, Lüthi et al. 2010). Bis zum Jahr 2100 werden nur noch 20 bis 30 Prozent des heutigen Gletschervolumens übrig bleiben (BAFU 2012a).

Lawinen: Es gibt verschiedene Arten von Lawinen, die sich auf vielfältige Weise klassifizieren lassen. Aus Sicht des Klimawandels ist die Unterscheidung zwischen Trockenschneelawinen (Pulverschnee) und Nassschneelawinen (schwerer Schnee aufgrund eines hohen Wassergehalts in der Schneedecke) (TECFA 2016, SLF 2016) besonders relevant.

In Bezug auf das bisherige Auftreten von Lawinen ist kein signifikanter Trend feststellbar. In Zukunft dürfte sich die Häufigkeit und Mächtigkeit von Lawinen je nach Höhenlage unterschiedlich entwickeln. Wenn die Schneefälle in hohen Lagen zunehmen (Zunahme der Niederschläge im Winter), werden auch Trockenschneelawinen in diesen Gebieten zahlreicher und über grössere Gebiete verteilt auftreten als heute. Nassschneelawinen in grossen Höhen dürften ebenfalls – sowohl was die Häufigkeit als auch die Mächtigkeit betrifft – deutlich zunehmen, während sie in den Voralpen immer seltener und in kleinerem Ausmass zu erwarten sind (Geo7 2012). Zur Entwicklung bei den sehr grossen, sogenannten Schadlawinen, die typischerweise im Bereich der oberen Waldgrenze oder weiter oben anbrechen und bis in die Täler vorstossen, können noch keine gesicherten Aussagen gemacht werden.

Abflussregime: In den meisten Einzugsgebieten der Schweiz bildet die Schneedecke eine wichtige Komponente, die das Abflussregime beeinflusst (SGHL & CHY 2011). Die maximalen Abflussmengen der alpinen Fließgewässer werden mit der Schneeschmelze im Frühjahr (für das nivale Regime) und mit dem Abschmelzen der Gletscher im Sommer (für das glaziale Regime) erreicht (Blanc & Schädler 2013).

Die Wasserreserven aus der Schneeschmelze sind für nahezu 40 Prozent (Durchschnitt der Jahre 1980 – 2009) der in der Schweiz gemessenen Abflussmengen verantwortlich (BAFU 2012a). 2 Prozent der gesamten Abflussmenge stammen von abschmelzendem Gletschereis (Blanc & Schädler 2013).

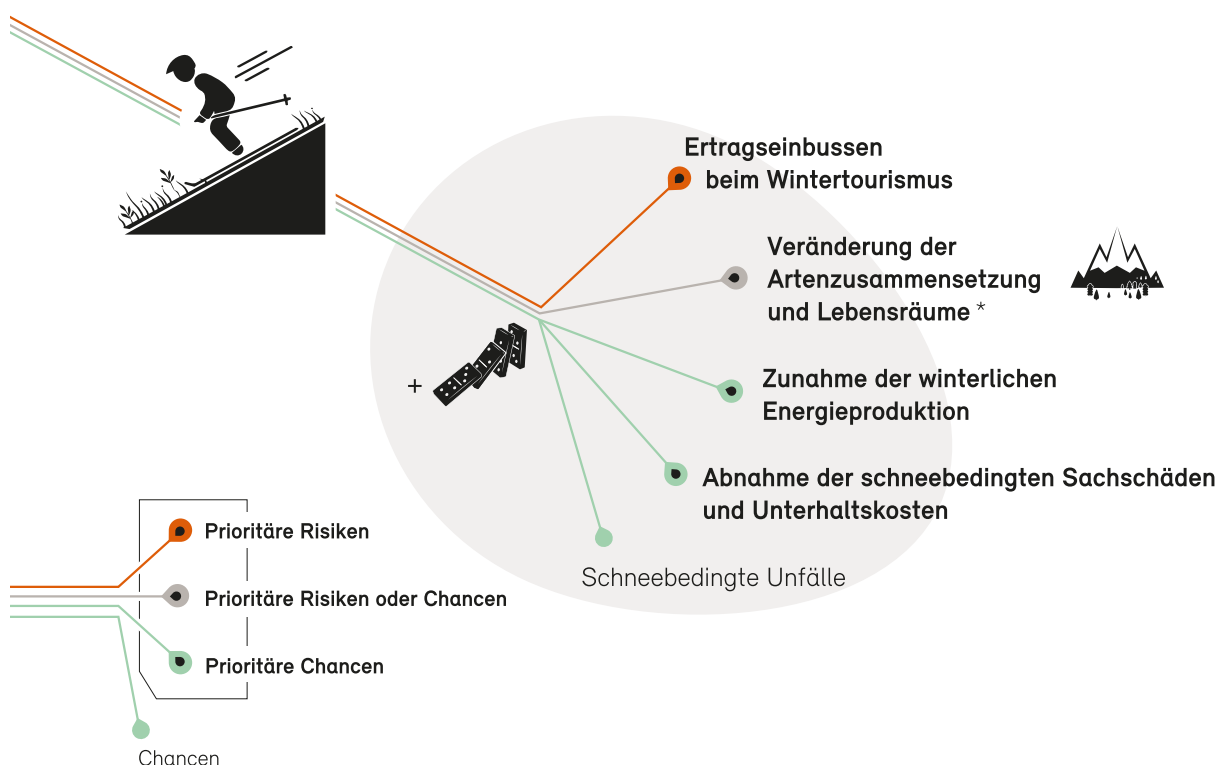
Bei den Abflüssen ist es weniger die jährliche Abflussmenge, die sich verändert, als deren saisonale Verteilung. In den meisten Gebieten der Schweiz wird eine Zunahme der Abflüsse im Winter erwartet, bedingt durch die Zunahme der winterlichen Niederschläge und den immer grösseren Anteil des Niederschlags in Form von Regen. Im Sommer hingegen wird in vielen Gebieten mit der Abnahme der Abflüsse aufgrund abnehmender Niederschläge, grösserer Verdunstung und früherer Schneeschmelze gerechnet (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). So könnte das Schmelzwasser bis 2085 nur noch 25 % des Abflussvolumens ausmachen. Im Mittelland könnte

dies zu tieferen Pegelständen bei Niedrigwasser und länger andauernden Niedrigwasserperioden führen. In stark vergletscherten Gebieten in den Alpen könnten die Abflüsse aufgrund des Volumenverlustes der Gletscher in der ersten Hälfte des Jahrhunderts noch zunehmen, um in der zweiten Hälfte stark zurückzugehen.

Insgesamt nimmt in allen Gebieten der Schweiz die inner- und interannuelle Variabilität der Abflüsse zu, weil die dämpfende Wirkung des Schnees als Wasserspeicher nachlässt (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Zukünftige Änderungen hängen allerdings nicht nur von klimatischen Einflüssen ab. Stauhaltung führt dazu, dass bereits heute in vielen Einzugsgebieten kein natürliches Abflussregime mehr besteht. Vielmehr sind die Abflussmengen oft geprägt durch die Betriebsmodelle der Wasserkraftwerke.

Abbildung 22

Steigende Schneefallgrenze: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen



* Unter anderer Herausforderung diskutiert

Abbildung 22 zeigt die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen aufgrund der Herausforderung «Steigende Schneefallgrenze».

5.1 Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus

Der Wintertourismus ist in den meisten Kantonen im Alpen- und Voralpenraum ein wichtiger Wirtschaftszweig. In einigen Regionen hängt ein grosser Teil der Arbeitsplätze und der Wertschöpfung direkt vom Wintertourismus ab. So umfasst dieser im Kanton Graubünden je 30 Prozent der Arbeitsplätze und des Bruttoinlandsprodukts. 93 Prozent der Jahreserträge im Bündner Tourismussektor werden während der Wintersaison generiert (FS5).

Unter dem Begriff Wertschöpfung aus dem Wintertourismus werden hier sowohl die direkten Einnahmen aus dem Betrieb der Seilbahnen oder den Hotelübernachtungen als auch die indirekten Einnahmen im Zusammenhang mit anderen Freizeitaktivitäten oder dem Verkauf von Produkten (Sportgeschäfte, Lebensmittelläden usw.) und Dienstleistungen (andere Freizeitaktivitäten, Gastgewerbe usw.) verstanden.

Schon heute sind in tiefer gelegenen Wintersportorten öfters Perioden des Schneemangels zu beobachten (FS6, FS7). Die Zahl der Skifahrtstage¹³ hat im Laufe des letzten Jahrzehnts um fast 20% abgenommen. Im gleichen Zeitraum mussten rund ein Dutzend Skigebiete aufgrund finanzieller Schwierigkeiten oder infolge Schneemangels schliessen (SBS 2015b). Die Schneefälle unterliegen starken Schwankungen von Jahr zu Jahr. Entsprechend deutlich variieren die Tourismuseinnahmen zwischen schneereichen und schneearmen Wintern.

Die oben erwähnten Schliessungen von Skigebieten sind nicht ausschliesslich auf den Schneemangel zurückzuführen, sondern auch auf die schlechte wirtschaftliche Lage vieler Schweizer Skiorte. Da die Kunden immer höhere Erwartungen haben, steigen die Betriebskosten, u. a. für den Betrieb von Beschneiungsanlagen. Zahlrei-

che Seilbahnen sind auf Unterstützungsbeiträge von Gemeinden oder Gönnern angewiesen (Genier 2016).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Der Anstieg von Schneefallgrenze und Mitteltemperaturen führt zu einer Verringerung der Schneesicherheit¹⁴ und zu einer Verkürzung der Wintersaison, was wiederum Ertragseinbussen zur Folge hat (FS3, FS8). Vor allem der Schneemangel während der Festtage am Jahresende (Weihnachten/Neujahr) hat massive Auswirkungen auf die Bilanzen der Tourismusorte, da in dieser Zeit ein bedeutender Teil der Umsätze generiert wird (FS3, FS8, CH2014-Impacts 2014, Abegg 2012). Speziell in den tiefen und mittleren Lagen ist die Ausübung des Schneesports gefährdet. Nicht nur der Schneemangel, bereits das Fehlen einer Winteratmosphäre stellt für diese Orte ein Handicap dar, da die Kundschaft auf höher gelegene Destinationen ausweicht (Gillioz 2016). Hinzu kommt, dass mit der Schliessung der Familien-Skigebiete in tiefen Lagen ein Teil der Bevölkerung das Skifahren nicht mehr erlernt. Das Risiko besteht, dass dem Schneesport mittelfristig der Nachwuchs abhandenkommt (CH2014-Impacts 2014). Auf internationaler Ebene kann sich ein Ausweichen der Kundschaft für die Schweiz positiv auswirken, da sie aufgrund ihrer Höhenlage mehr Schneesicherheit bietet als die umliegenden Länder.

Die abnehmende Schneesicherheit drückt einerseits auf die Erträge von Seilbahnunternehmen und daran gekoppelten Aktivitäten (Hotellerie, Detailhandel usw.), andererseits verursacht sie zusätzliche Kosten für Anpassungsmassnahmen, z. B. die künstliche Beschneigung (FS8).

Das klimabedingte Risiko ist in den Voralpen bedeutend und in den Alpenregionen moderat. Im Alpenraum sind insbesondere Gebiete in tieferen und mittleren Lagen betroffen. Das Risiko eines (weiteren) Rückgangs der Erträge aus dem Wintertourismus ist in den Regionen des Juras und in der Südschweiz gering (Abb. 23).

¹³ Unter einem Skifahrtstag versteht man den Tagesbesuch einer Person, die zum Skifahren oder Snowboarden in ein Skigebiet reist, unabhängig vom bezahlten Tarif (SBS 2015b).

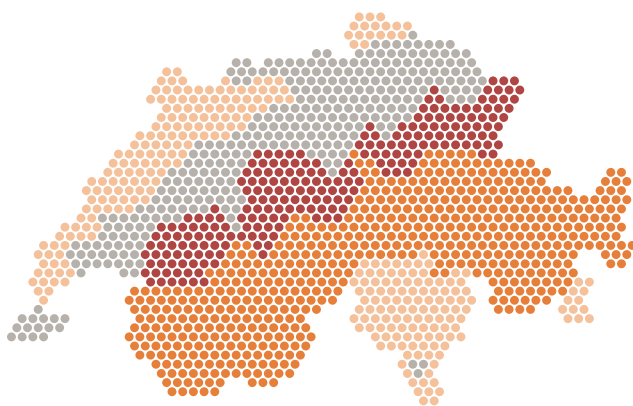
¹⁴ Ein Skigebiet gilt als schneesicher, wenn die Schneedecke in 7 von 10 Jahren während mindestens 100 Tagen pro Jahr 30 Zentimeter erreicht (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Abbildung 23

Veränderung der Ertragseinbussen beim Wintertourismus pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- bedeutend
- nicht relevant



Der Tourismussektor wird stark von sozioökonomischen Parametern beeinflusst (FS3, FS6, FS7). Wechselkursverhältnisse spielen insbesondere für Gäste aus dem Euroraum eine grosse Rolle (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). In der Schweiz sind die Besucher bei der Reiseplanung sehr flexibel und entscheiden sich je nach Wetterlage spontan für eine andere Aktivität (FS3, FS6, FS7).

Weiter kann die Entwicklung touristischer Aktivitäten (Übernachtungsangebote, Transportinfrastruktur, Sportanlagen usw.) auch mit dem Naturschutz oder mit den energiepolitischen Zielen in Konflikt geraten (Nutzung von Wasser und Energie für die künstliche Beschneigung).

Aufgrund der klimabedingten Veränderung sowie der weiteren Einflussfaktoren wird die Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus in den Voralpen sowie in den Alpen als prioritäres Risiko eingestuft (Abb. 24).

Anpassungsmassnahmen

Eine bereits heute verbreitet genutzte Anpassungsmassnahme besteht in der künstlichen Beschneigung der Pisten. In der Schweiz werden aktuell 48% der präparierten Skipisten künstlich beschneit (SBS 2015a). Nebst Schneemangel ist auch die Gewährleistung optimaler

Pistenverhältnisse ein Grund für die Beschneigung. Diese Methode ist jedoch kostspielig und beansprucht grosse Mengen von Wasser und Energie (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a); ihre Nachhaltigkeit ist daher nicht gegeben (FS3, FS5, FS6, FS8).

Abbildung 24

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus» prioritär ist



Weitere Anpassungsmassnahmen bestehen in der Diversifikation des touristischen Angebots im Winter (Förderung von Aktivitäten, die nicht von den Schneeverhältnissen abhängig sind) sowie im Ausbau ganzjähriger Tourismusangebote (vgl. Kapitel 12.2) (FS3, FS5, FS6).

Monte Tamaro – Abkehr vom Wintertourismus

Im Jahr 2003 hat das Ausflugsziel Monte Tamaro (Tessin) den Wintertourismus aufgrund der unzureichenden Schneesicherheit aufgegeben und setzt stattdessen auf touristische Angebote im Sommer, Frühling und Herbst (Erlebnispark, Rodelbahn, Tyrolienne usw.). Diese neuen Anlagen können während acht Monaten pro Jahr genutzt werden.

5.2 Zunahme der winterlichen Energieproduktion

Mit dem Anstieg der Schneefallgrenze können die Wasserkraftproduktion und – in geringerem Umfang – die

Produktion von Solarenergie im Winter gesteigert werden. Da das Potenzial für eine Erhöhung der Solarenergieproduktion infolge der kürzeren Schneebedeckung der Sonnenkollektoren gering ist, wird dieser Aspekt nicht weiter behandelt.

Die Wasserkraftproduktion spielt für die Energieversorgung der Schweiz eine wichtige Rolle. 56 Prozent der inländischen Stromproduktion stammt aus Wasserkraftwerken. Auf lokaler Ebene kann die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraft sehr gross sein. Im Kanton Graubünden trägt sie 11 Prozent zur kantonalen Bruttowertschöpfung bei (FS5).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Aufgrund des Klimawandels dürften die Niederschläge in Zukunft im Winter zunehmen und vermehrt in Form von Regen statt Schnee fallen. Da der Regen im Unterschied zum Schnee direkt über die Fliessgewässer abfließt, werden die Abflussmengen im Winter künftig höher sein, sodass die winterliche Wasserkraftproduktion gesteigert werden kann (FS1, FS2, FS3, FS5).

Die Auswirkungen der veränderten Abflussmengen auf die Wasserkraftproduktion erfordern indes eine differenzierte Betrachtungsweise. Zum einen ist der Zusammenhang zwischen Abflussmenge und Wasserkraftproduktion nicht linear, und die Produktionskapazität hängt in erheblichem Masse von weiteren Faktoren wie etwa der Dimensionierung und der Art der Anlagen ab. Die Veränderung des Abflussregimes der Fliessgewässer stellt insbesondere für die Laufwasserkraftwerke eine Chance dar, während die Produktion der Speicherkraftwerke eher vom Fassungsvermögen der Anlagen und damit von der Jahresabflussmenge beeinflusst wird.

Zum anderen könnte die Variabilität der Abflussmengen stark zunehmen (siehe die Einleitung des Kapitels). So wird die durch den Klimawandel verursachte Veränderung des Wasserkraftpotenzials in Basel und Genf beispielsweise geringer ausfallen als die natürlichen Schwankungen der Abflussmengen von Rhone und Rhein (FS2, FS4). Zudem dürfte die Veränderung des hydrologischen Regimes in bestimmten, vom Auftauen des Permafrosts und/oder der Gletscher betroffenen Regionen mit der Mobilisierung von Lockermaterial einhergehen. Dies führt zu einem Anstieg der Geschiebemengen, damit zu höheren Unterhaltskosten

in den Wasserkraftwerksanlagen und zu einer geringeren Speicherkapazität der Staubecken (vgl. Kapitel 7.2).

Insgesamt wird diese klimabedingte Chance für die gesamte Schweiz als gering eingestuft. Die Entwicklung des hydroelektrischen Produktionspotenzials variiert lokal jedoch stark, da das Abflussregime der Fliessgewässer von den lokalen Gegebenheiten wie etwa der Topografie, aber auch von den hydrologischen Merkmalen des jeweiligen Einzugsgebiets abhängig ist (Abb. 25).

Abbildung 25

Veränderung der winterlichen Energieproduktion pro Grossraum

Zunahme der Chance:

● gering



Betrachtet man nebst den klimabedingten Einflüssen die weiteren Einflussfaktoren, so ist die Zunahme der Energieproduktion in zweifacher Hinsicht ein Gewinn. Einerseits erfolgt die Zunahme im Winter, einer Zeit, in der die Strompreise aufgrund der starken Nachfrage hoch sind (FS1, FS3). Andererseits stellt sie eine Chance für die Versorgungssicherheit dar, da die Stromproduktion in den Wintermonaten und damit in einer Jahreszeit gesteigert werden kann, in der insgesamt relativ wenig Strom erzeugt wird (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Allerdings wird die Wasserkraftproduktion auch von anderen Parametern beeinflusst, beispielsweise von den Energiepreisen und den Wasserzinsen. Ebenso reduziert eine stärkere Subventionierung der neuen erneuerbaren Energien die Rentabilität der Wasserkraftproduktion (Filippini & Geissmann 2014).

Zudem ist die Anpassungsfähigkeit an die sich ändernden klimatischen Bedingungen im Energiesektor gering – sowohl aufgrund des schwierigen wirtschaftlichen Umfelds der Branche als auch aufgrund der Komplexität der rechtlichen Strukturen (kantonal unterschiedliche Regelungen) (Jörin et al. 2016).

Aufgrund der klimabedingten Veränderung sowie der weiteren Kriterien wurde die Erhöhung der Wasserkraftproduktion im Grossraum Alpen als prioritäre Chance eingestuft (Abb. 26). Dort kann davon ausgegangen werden, dass Anpassungsmassnahmen zur Nutzung der Chance anhand von betriebswirtschaftlichen Überlegungen und in Abhängigkeit von den politischen Rahmenbedingungen von der Branche autonom getroffen werden.

Abbildung 26

Grossraum in welchem die Chance «Zunahme der winterlichen Energieproduktion» prioritär ist



Chancen für die Wasserkraftproduktion im Kanton Graubünden

Im Kanton Graubünden wurde mithilfe von Klimamodellen für die Periode 2021 bis 2050 die Entwicklung der Stromproduktion in Wasserkraftwerken geschätzt. Für die Kraftwerke Prättigau resultierte z. B. eine Zunahme der Jahresproduktion um 9,3 Prozent. Die erwartete Steigerung beträgt 26 Prozent im Winter und 0,4 Prozent im Sommer (Hänggi 2011).

5.3 Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten

Jedes Jahr werden im Winter grosse Summen für den Unterhalt und die Reparatur des Strassennetzes aufgewendet. Zudem verursachen Lawinenabgänge und die Schneelast in den Wintermonaten auch Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden. Der Anstieg der Schneefallgrenze und der Mitteltemperatur stellt daher ein Potenzial für Einsparungen in diesem Bereich dar.

Ein Beispiel für schneebedingte Unterhaltskosten ist der Verbrauch von Streusalz. Im Mittel bestellen Gemeinden, Kantone, Einzelhändler, Bauunternehmen, öffentliche Verkehrsbetriebe und weitere Abnehmer bei den Salinen rund 220 000 Tonnen Streusalz pro Jahr. In besonders schneereichen Wintern werden bis zu 400 000 Tonnen eingesetzt. Es besteht eine hohe Korrelation zwischen Schneefällen und dem Salzverbrauch (MeteoSchweiz 2015).

Die in diesem Kapitel behandelten Sachschäden und Unterhaltskosten können räumlich differenziert betrachtet werden.

Tiefe und hohe Lagen:

- Schneebedingte Kosten für den Strassenunterhalt (Schneeräumung, Streuen von Salz und Kies).
- Schäden an Strassenbelägen aufgrund des Wechsels von Frost und Tauwetter (FS1, FS6).

Nur hohe Lagen:

- Durch die Schneelast oder durch Schneedruck verursachte Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden. Diese Schäden hängen in erster Linie vom Wassergehalt des Schnees ab. Ein Kubikmeter Nassschnee ist rund viermal so schwer wie ein Kubikmeter Pulverschnee (Wetter-Alarm 2016).

- Durch Lawinen verursachte Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden. Diese Schäden waren in den letzten Jahren insgesamt rückläufig, unter anderem dank der konsequenteren Berücksichtigung des Lawinenrisikos in der Raumplanung (FS5).¹⁵

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Schneebedingte Unterhaltskosten: Bis zum Jahr 2060 wird eine Abnahme der Anzahl Neuschneetage erwartet, insbesondere in tiefen und mittleren Lagen. Dies dürfte zu einer Reduktion der Schneeräumungskosten führen. Der Salzverbrauch könnte bis 2060 von heute durchschnittlich 220 000 Tonnen auf 120 000 Tonnen sinken. Es ist allerdings möglich, dass dieser Verbrauch in hoch gelegenen Regionen lokal ansteigt (MeteoSchweiz 2015).

Frostschäden: Da die Zahl der Frostdage abnehmen wird, dürften die durch Frost verursachten Schäden in einigen Regionen zurückgehen (FS1, FS3, FS7). Demgegenüber könnten diese Schäden in anderen Regionen zunehmen. Die Ursache dafür ist, dass anhaltende Perioden mit Frost seltener werden, während Perioden mit alternierendem Frost- und Tauwetter häufiger werden (FS6).

Durch die Schneelast verursachte Schäden: Grundsätzlich dürften durch die Schneelast verursachte Schäden mit dem Rückgang der Schneefälle abnehmen (FS6, FS7, FS8). Bei steigenden Durchschnittstemperaturen ist es allerdings möglich, dass Schäden dieser Art kurzfristig und lokal leicht zunehmen, wenn mehr Nassschneefälle mit entsprechend höherer Schneelast auftreten (FS5).

Schäden durch Lawinenabgänge: Die Wissensgrundlage zur Veränderung der Lawinenaktivität ist noch unzureichend, als dass Aussagen zur Schadenentwicklung gemacht werden könnten. Grundsätzlich sind ausgesprochen schneereiche Winter trotz Klimaerwärmung weiterhin möglich.

Das Ausmass dieser klimabedingten Chance ist von Region zu Region unterschiedlich. Die Abnahme der schneebedingten Schäden und Unterhaltskosten ist in den grossen Agglomerationen, im Mittelland und in der

Südschweiz moderat. Die erwarteten Einsparungen sind in den Alpen- und Voralpenregion sowie im Jura gering und betreffen hauptsächlich die Talböden. Die Sparpotenziale aufgrund sinkender Schneeräumungskosten betragen je nach Region zwischen 30 und 77 Prozent (Genf und Uri: je 30 %, Freiburg: 60 %, Aargau: 70 %, Tessin: 77 %) (Abb. 27).

Abbildung 27

Veränderung der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten pro Grossraum

Zunahme der Chance:

- gering
- moderat



Das Ausbringen von Streusalz stellt auch eine Umweltbelastung dar (Grundwasserverschmutzung) und kann Schäden an der lokalen Fauna und Flora verursachen. Der verminderte Einsatz von Streusalz trägt dazu bei, diese Umweltschäden zu vermindern. Zudem dürften Kosten im Zusammenhang mit der Ableitung des Strassenwassers, dem Durchspülen von Kanalisationsleitungen und der Wasseraufbereitung in den Kläranlagen reduziert werden. Auch Schäden an Infrastrukturbauten (Beläge sowie Beton- und Stahlbauten) und an Fahrzeugen (Korrosion) fallen weg, wenn weniger Streusalz eingesetzt wird (Zuber 2015).

Aufgrund der klimabedingten Veränderung sowie der weiteren Einflussfaktoren wurde die Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten in der ganzen Schweiz als prioritäre Chance eingestuft (Abb.

¹⁵ Die durch extreme Schneefälle verursachten, sogenannten Schadlawinen, die an oder oberhalb der Waldgrenze anbrechen und bis in die Täler vorstossen, werden hier nicht behandelt, da die Wissensgrundlage zu deren klimabedingten Veränderung unzureichend ist.

28). Es sind keine besonderen Anpassungsmassnahmen erforderlich, um diese Chance zu nutzen.

Abbildung 28

Grossräume, in welchen die Chance «Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten» prioritär ist



Kosten für den Winterdienst in den Freiburger Voralpen

In den Freiburger Voralpen belaufen sich die Kosten für Schneeräumungsarbeiten auf National-, Kantons- und Gemeindestrassen auf 7,4 Mio. CHF pro Jahr. Diese Kosten könnten mit dem Anstieg der Schneefallgrenze markant abnehmen. Im Zeithorizont 2060 dürften sie voraussichtlich noch 3 Mio. CHF pro Jahr betragen. Die Kosten für frostbedingte Schäden an den Strassen dürften von derzeit 0,6 Mio. CHF pro Jahr auf voraussichtlich 0,4 Mio. CHF im Jahr 2060 sinken. Für den Kanton und die betroffenen Gemeinden ist das Sparpotenzial somit erheblich (FS3).

6 Steigendes Hochwasserrisiko



- Personenschäden
- Sachschäden



Hochwasser nach schweren Unwettern in Altstätten im Kanton St.Gallen (2014)

Foto: KEYSTONE_Ennio Leanza

Der Hochwasserschutz hat in der Schweiz traditionell eine hohe Priorität. Er hat sich im Verlauf der Zeit aufgrund von ausserordentlichen Schadenereignissen stark weiterentwickelt. So führte das Ereignis im Jahr 1987 schliesslich zum heutigen Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991 (SR 721.100). Dieses Gesetz bestimmt unter anderem die ökologischen Anforderungen an den Hochwasserschutz. Das Hochwasserereignis von 2005 zeigte deutlich die Bedeutung des Überlastfalls auf. Indem bei der Planung von Hochwasserschutzprojekten der Überlastfall einbezogen wird, kann sichergestellt werden, dass Schutzbauten nicht kollapsartig versagen und die Schäden sprunghaft ansteigen (BAFU 2017a).

Trotzdem bleibt das Hochwasserrisiko aufgrund der einwirkenden Kräfte und der potenziell gefährdeten Flächen und Güter bedeutend. Es ist wichtig, die Entwicklung dieser beiden Komponenten zu verfolgen, um den Menschen und erhebliche Sachwerte angemessen zu schützen.

Intensiver oder lang anhaltender Regen und/oder Schneeschmelze können einen erhöhten Wasserstand in stehenden Gewässern oder einen erhöhten Abfluss in Fließgewässern zur Folge haben. Liegt der Wasserpegel deutlich über dem langjährigen Mittelwert, spricht man von einem Hochwasser. Es können zwei Arten von Überschwemmungen unterschieden werden (PLANAT 2017a):

- In Wildbächen und Gebirgsflüssen können starke Strömungen zur Ausuferung des Wassers führen (dynamische Überschwemmung). Dabei kann das Wasser das Flussbett sowohl seitlich wie auch in die Tiefe erodieren. Schutt und Geröll werden mitgerissen oder ausserhalb des Gerinnes abgelagert.
- In flachem Gelände steigt der Wasserstand eines Flusses oder Sees langsam an und das Wasser tritt über die Ufer (statische Überschwemmung). Auch hier können Ufer- und Sohlenerosion stattfinden und Feststoffe mitgeführt und abgelagert werden.

Folgende weiteren Phänomene werden ebenfalls in diesem Kapitel behandelt:

- Hochwasser, die durch die Entleerung von Flutwellen aus Gletscherseen entstehen;
- Überschwemmungen, die durch Oberflächenabfluss aufgrund von Starkniederschlagsereignissen verursacht werden;
- Murgänge, ein langsam bis schnell fliessendes Gemisch aus Wasser und Feststoffen, das häufig in mehreren Schüben niedergeht (Loat & Meier 2003).

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Katastrophale Hochwasser wurden in der Vergangenheit immer wieder registriert, so z. B. das Hochwasser von 1852, das als eines der grössten Hochwasser des schweizerischen Mittellandes gilt (Röthlisberger 1991, Wetter 2011). Historisch betrachtet gab es aber auch Perioden, die durch eine kleine Anzahl an Ereignissen gekennzeichnet waren. So wird der Zeitraum zwischen 1880 und 1970 als «Katastrophenlücke» bezeichnet (Pfister 2009).

Seit den 1970er-Jahren haben sich Hochwasserereignisse wieder gehäuft (Schmocker-Fackel & Naef 2010) mit den schweren Unwetterschäden von 1977 im Kanton Uri (Röthlisberger 1991) und mit den extremen Überschwemmungen im Alpenraum im Sommer 1987 (Pfister 2009). Zudem haben die sozioökonomischen Entwicklungen, wie die Expansion des Siedlungsraums und eine höhere Werdichte, zu einer markanten Erhöhung des Schadenpotenzials geführt (Pfister 2009).

Das Hochwasser vom 21./22. August 2005

Beim Ereignis vom 21./22. August 2005 sorgten hauptsächlich grosse Flüsse und Seen für lang anhaltende und grossflächige, aber meist geschiebearme Überschwemmungen. Mit sechs Todesopfern und Gesamtschäden von rund 3 Mrd. CHF übertraf das Ereignis hinsichtlich Todesopfer und Schäden alle Naturereignisse seit 1972, dem Beginn der systematischen Erfassung von Unwetterschäden. Besonders schwer betroffen waren die Kantone Bern, Luzern, Uri, Obwalden und Nidwalden. Knapp ein Drittel aller Schweizer Gemeinden verzeichnete Schäden.

Nebst privaten Gebäude- und Mobiliarschäden entstanden Schäden in einer Vielzahl von Bereichen. Auch öffentliche Bauten, Hotels, Gewerbebetriebe, die Verkehrsinfrastruktur, Wasserschutzbauten, Infrastrukturanlagen der Strom- und Wasserversorgung, landwirtschaftliche Bauten und Kulturen sowie touristisch genutzte Infrastrukturen wurden in Mitleidenschaft gezogen. Zudem mussten mehr als 3000 Personen evakuiert werden. Auch beträchtliche indirekte Kosten, z. B. Einbussen im Tourismus, waren zu verzeichnen. Diese sind jedoch im Gesamtschaden nicht berücksichtigt, da keine Zahlen dazu vorliegen (BAFU & WSL 2007).

Um einzuschätzen, wie sich Hochwasser in einem wärmeren Klima verändern könnten, müssen folgende Prozesse in Betracht gezogen werden:

- Grösserer Anteil des Winterniederschlags in Form von Regen anstelle von Schnee. Zusammen mit der erwarteten Zunahme der Niederschlagsmenge erhöht dies die Abflüsse im Winter.
- Frühere Schneeschmelze und, daran gekoppelt, zunehmende Wahrscheinlichkeit der Überlagerung von Schneeschmelze und intensiven Winterniederschlägen mit erhöhten Winterabflüssen.
- Weniger Schneereserven, die erst im Frühling schmelzen. Dadurch sinkt die Wahrscheinlichkeit von Frühlingshochwassern.
- Abnahme der Abflüsse im Sommer.

Aufgrund dieser Veränderungen dürfte die Hochwassergefährdung insgesamt zunehmen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Die potenzielle Hochwasserzeit dürfte sich vom Frühsommer in das Winterhalbjahr verschieben und teilweise auch verlängern. Durch die Auftauprozesse im Permafrost und den Gletscherrückzug dürfte sich zudem die Verfügbarkeit von Lockermaterial erhöhen, was je nach den geologischen Voraussetzungen den Geschiebetransport in Gebirgsflüssen verstärken könnte (BAFU 2012a, CH2014-Impacts 2014, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Dabei ist zwischen den verschiedenen Prozessen in Wildbächen, Gebirgsflüssen und im Unterlauf der Fließgewässer zu unterscheiden (Geo7 2012).

Ob in Zukunft vermehrt Hochwasser auftreten, weil sich neu entstandene Seen im Gletschervorfeld abrupt ent-

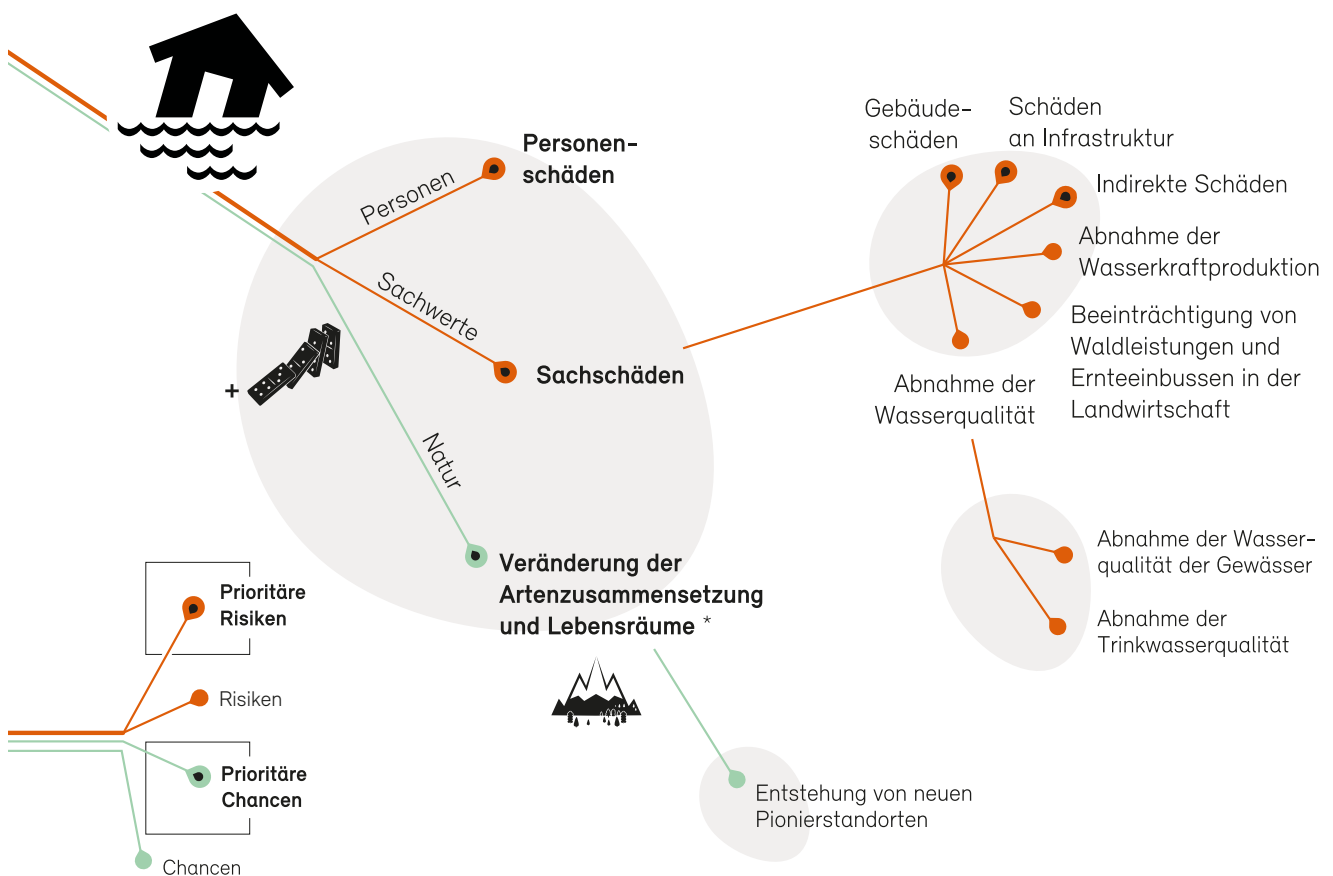
leeren, hängt sehr stark von den lokalen Gegebenheiten ab. Eine Beurteilung ist nur im Einzelfall möglich.

Überschwemmungen durch Oberflächenabfluss, die von Starkniederschlägen ausgelöst werden, könnten sich in einem wärmeren Klima verstärken, sowohl hinsichtlich Intensität wie auch Häufigkeit (Rajczak et al. 2013, Ban et al. 2015, Giorgi et al. 2016). Diese Entwicklung folgt der erwarteten Veränderung der Starkniederschläge, welche im Sommer, trotz einer Abnahme der Gesamtniederschlagsmenge, bezüglich Intensität und Häufigkeit zunehmen könnten (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Starkniederschläge sind auch der massgebende Einflussfaktor für die Auslösung von Murgängen. Zusammen mit der Permafrostdegradation und der erhöhten

Abbildung 29

Steigendes Hochwasserrisiko: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen



* Unter anderer Herausforderung diskutiert

Mobilisierung von Lockermaterial verstärken diese die Murgangaktivität in einem wärmeren Klima.

Abbildung 29 zeigt die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen aufgrund der Herausforderung «Steigendes Hochwasserrisiko».

6.1 Zunahme der Personenschäden

In diesem Kapitel werden ausschliesslich Todesopfer (keine weiteren Personenschäden) im Zusammenhang mit Hochwasser, Massenbewegungen, Sturm und Blitzschlag behandelt.

Der Schutz des Menschen ist ein prioritäres Ziel. Dieses ist im Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991 (SR 721.100) im Zweckartikel 1 sowie in der Strategie Naturgefahren Schweiz festgehalten. Als anzustrebendes langfristiges Sicherheitsniveau wird angegeben, dass die durchschnittliche Todesfallwahrscheinlichkeit durch Naturgefahren nicht erheblich erhöht werden soll (PLANAT 2013). Insbesondere soll sie deutlich kleiner sein als die natürliche Sterblichkeit in der Altersklasse mit der geringsten Sterblichkeitsrate, nämlich jene der 10- bis 14-Jährigen. Unter Fachleuten besteht weitgehender Konsens, dass die Grenze zwischen akzeptablem und nicht akzeptablem Todesfallrisiko bei 10^{-5} /Jahr anzusetzen ist (PLANAT 2015).

Als Prämisse aller Schutzbemühungen gilt, dass es keine absolute Sicherheit vor Naturgefahren geben kann. Schäden und Todesopfer lassen sich heute und auch in Zukunft nicht vollständig verhindern (Schweizerische Eidgenossenschaft 2016).

Zu Todesopfern kommt es insbesondere bei grossen Ereignissen. Diese sind aufgrund ihrer Seltenheit schwierig vorherzusagen. Das Ausmass der Personenschäden hängt zudem stark von den vorhandenen Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren und vom individuellen Verhalten ab (BAFU 2017a).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Die Anzahl Todesopfer sind – noch stärker als die Sachschäden – vom Verlauf eines Ereignisses abhängig und

damit letztlich auch dem Zufall unterworfen. Um Entwicklungen zu erkennen, ist eine möglichst lange Beobachtungsperiode notwendig. Betrachtet man den Zeitraum seit Beginn des 19. Jahrhunderts, so ist die durchschnittliche Anzahl der Todesopfer stabil geblieben. Im Verhältnis zur Bevölkerungszahl hat sie abgenommen.

Gemäss der Statistik der Todesopfer der letzten 70 Jahre kamen insgesamt 552 Personen durch die Gefahren Hochwasser (124), Rutschungen (74), Steinschlag (85), Blitzschlag (164) und Sturm (105) ums Leben (Badoux et al, 2016). Der Mittelwert beträgt circa 8 Todesopfer pro Jahr. In dieser Zahl nicht eingerechnet sind Todesfälle, bei denen sich Personen willentlich einer bedeutenden Gefahr aussetzten.

Todesfälle finden meist im Zusammenhang mit Extremereignissen statt, zu deren möglicher Veränderung es noch keine gesicherten Aussagen gibt. Daher wird die Veränderung pro Grossregion auch nicht in einer Karte dargestellt. Die potenzielle Zunahme von Personenschäden wird aber für die ganze Schweiz als prioritäres Risiko eingestuft (Abb. 30), da Todesfälle irreversibel sind und bisherige Erfahrungen mit Hochwasser und Stürmen darauf schliessen lassen, dass ihre Häufung infolge des Klimawandels nicht ausgeschlossen werden kann.

Abbildung 30

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Personenschäden durch Hochwasser, Massenbewegungen, Sturm und Blitzschlag» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Speziell hervorzuheben sind wasserbauliche und forstliche Schutzmassnahmen, verbesserte organisatorische Massnahmen und die Möglichkeiten, die heute zur Warnung und Rettung von Personen zur Verfügung stehen.

Im Umgang mit Naturgefahren ist der Eigenverantwortung ein hoher Stellenwert beizumessen. Dieser Grundsatz ist auch in der Bundesverfassung (Art. 6) festgehalten. Jeder und jede Einzelne hat die Pflicht, einen Beitrag zur Erreichung der angestrebten Sicherheit zu leisten – insbesondere durch Objektschutz und gefahrengerechtes Verhalten (Schweizerische Eidgenossenschaft 2016).

6.2 Zunahme der Sachschäden

Schweizweit bestehen heute enorme hochwasserbedingte Sachschadenpotenziale. Einerseits können grosse Landesflächen betroffen sein, andererseits liegen kritische Infrastrukturen in gefährdeten Gebieten, oder es können beträchtliche indirekte Schäden, zum Beispiel ökonomische Einbussen durch Verkehrs- und Betriebsunterbrüche, entstehen. Diese Faktoren tragen zum potenziell katastrophalen Ausmass von Hochwasserereignissen bei.

Die Entstehung der Schäden hängt stark vom beteiligten Prozess ab. Da statische Überschwemmungen oft relativ grossflächig auftreten, können bereits geringe Überschwemmungshöhen zu grossen Sachschäden führen. Bei höheren Intensitäten kann der Strömungsdruck des Hochwassers zudem die Tragfähigkeit von Gebäuden gefährden. Bei dynamischen Überschwemmungen sind die starken Strömungen verantwortlich für die Schäden. Oft tritt gleichzeitig Ablagerung von Geröll und Erosion auf. Lokal haben sie eine grosse Zerstörungskraft (PLANAT 2016b, BAFU 2015a).

Zusätzliche Schäden können durch Verklausung (Verschluss eines Fliessgewässerquerschnitts durch angeschwemmtes Treibgut) entstehen. Kommt es zu einem schlagartigen Durchbruch, kann ein gefährlicher Wasserschwall entstehen (BAFU & WSL 2007). Dies kann auch bei der plötzlichen Entleerung oder einer Flutwelle aus einem Gletschersee der Fall sein (Kanton Bern 2015).

Oberflächenabfluss bei Starkniederschlagsereignissen ist eine weitere Ursache für Wasserschäden, besonders im Siedlungsgebiet. Dort kann das Wasser die Kapazität von Entwässerungsanlagen übersteigen. In der Folge werden Strassen, Plätze und tief liegende Gebäudeteile überschwemmt (FS2, Schweizerische Eidgenossenschaft 2016).

Murgänge können wegen der hohen Dichte des Feststoff-Wasser-Gemisches hohe Drücke verursachen und ganze Gebäude zum Einsturz bringen (PLANAT 2015).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Das schweizweite versicherte Sachschadenpotenzial eines 100-jährlichen Ereignisses (inkl. Betriebsunterbruch, aber ohne Infrastrukturschäden, da diese nicht versichert sind) wird durch die Rückversicherungsgesellschaft Swiss Re auf circa 4 Mrd. CHF geschätzt (Swiss Re 2012). Dieses Potenzial ist fast doppelt so gross wie das 100-jährliche Sturm- bzw. um einen Faktor drei höher als das 100-jährliche Hagelschadenpotenzial. Dabei gibt es grosse lokale Unterschiede. Sehr hoch ist das Schadenpotenzial zum Beispiel im Rhonetal, am Alpenrhein oder in der Stadt Zürich.

Schwierig zu bewerten und daher (abgesehen vom oben genannten, versicherten Betriebsunterbruch) in den Schätzungen zum Schadenpotenzial nicht inbegriffen sind indirekte Schäden, wie sie durch Verkehrsstörungen oder Produktionsausfälle entstehen können. Wenn z. B. wichtige Verkehrsachsen betroffen sind, können beträchtliche volkswirtschaftliche Konsequenzen auch in Regionen entstehen, die weit von der Störungsursache entfernt liegen (FS7).

In den Fallstudien Basel-Stadt, Aargau und Tessin wurden die Schäden von 100-jährlichen Hochwasserereignissen unter heutigen Klimabedingungen ermittelt. Einbezogen wurden Schäden an Gebäuden, Fahrhabe und Verkehrsinfrastruktur sowie eine grobe Schätzung der indirekten Folgen dieser Schäden. Im Kanton Basel-Stadt ergab sich ein Schadenerwartungswert von rund 500 Mio. CHF (FS2). Im Aargau könnten die erwarteten Schäden rund 650 Mio. CHF betragen (FS1). Im Kanton Tessin wurden die direkten Schäden im Bereich der grossen Seen auf circa 150 Mio. CHF geschätzt. Die zusätzlichen, indirek-

ten Schäden könnten nochmals in derselben Grössenordnung liegen (FS7).

Gemäss den Ausführungen in der Einleitung des Kapitels 6 dürfte sich die potenzielle Hochwasserzeit teilweise verlängern und das Schadensrisiko insgesamt zunehmen. Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von extremen Hochwassern fehlen jedoch noch weitgehend. Das Ausmass eines Hochwassers hängt von mehreren Faktoren ab, und allein aufgrund der Intensivierung der Starkniederschlagsereignisse kann nicht auf die Zunahme extremer Hochwasser oder Spitzenabflüsse geschlossen werden (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Zudem fehlen Studien zu den Schäden von extremen Hochwassern und deren möglicher Veränderung. Diese müssten den sehr komplexen Wirkungsketten, die vom Naturereignis zum Schaden führen, Rechnung tragen.

In den Fallstudien wurden vereinfachende Annahmen getroffen, um die Auswirkungen häufigerer Hochwasser grob abschätzen zu können. In der Fallstudie Tessin wurde angenommen, dass (grosse) Hochwasser 40 Prozent häufiger werden. Im Kanton Basel-Stadt wurde eine Zunahme der Spitzenabflüsse um 20 Prozent unterstellt. Im Aargau wurde die Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen um 30 Prozent als Grundlage für die Abschätzung der Veränderung der Hochwasserrisiken verwendet.

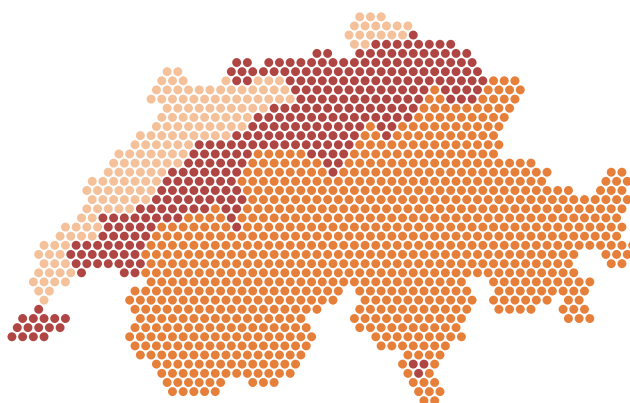
Die möglichen klimabedingten Veränderungen der Sachschäden von 100-jährlichen Hochwasserereignissen sind in Abbildung 31 dargestellt. Gemäss den Fallstudienresultaten und der Übertragung der Resultate auf alle Grossräume könnten das Mittelland und die grossen Agglomerationen von den Veränderungen stark betroffen sein (bedeutende Veränderung). In den Alpen, Voralpen und in der Südschweiz wird eine moderate, im Jura hingegen nur eine geringe Veränderung erwartet. Gründe für diese regionalen Unterschiede sind einerseits die erwarteten klimabedingten Veränderungen, die sich zwischen Bergregionen, insbesondere Wildbäche und Gebirgsflüsse, und Regionen im Mittelland, insbesondere grössere Flüsse, unterscheiden (Geo7 2012). Andererseits sind die Schadenpotenziale insbesondere im Mittelland und den grossen Agglomerationen bereits heute sehr gross und weiter zunehmend, was zu bedeutenden absoluten Veränderungen führt.

Abbildung 31

Veränderung der Sachschäden durch Hochwasser pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- bedeutend



Sozioökonomische Entwicklungen sind die Haupttreiber zukünftiger Veränderungen in allen Regionen der Schweiz. Die bebaute Fläche hat sich in den letzten Jahrzehnten stark vergrössert und wird auch in Zukunft weiter zunehmen. Aufgrund des Siedlungsdrucks dürften immer mehr Menschen in gefährdeten Gebieten leben. Zunehmende Abhängigkeiten von vernetzten technischen Systemen werden zu einem zusätzlichen Anstieg der Risiken für Wirtschaft und Gesellschaft führen. Zudem sind bei den grossen Hochwasserereignissen oftmals kritische Infrastrukturen betroffen, was sich sehr stark auf das Schadensausmass auswirken kann.

Gleichzeitig bestehen gewisse Anpassungshemmnisse. Die Wahrnehmung der Naturgefahren ist stark durch konkrete Erfahrungen geprägt. Treten über längere Zeit keine bedeutenden Ereignisse auf, sinkt die Sensibilisierung, und es wird schwieriger, die finanziellen und personellen Ressourcen für den Schutz vor Naturereignissen zu rechtfertigen (Jörin et al. 2016). Schliesslich ist die Umsetzung des integralen Risikomanagements, insbesondere hinsichtlich der Raumnutzung, mit Interessenkonflikten behaftet.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren wird die Zunahme der Sachschäden in der ganzen Schweiz als prioritäres Risiko eingestuft (Abb. 32).

Abbildung 32

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Sachschäden durch Hochwasser» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Durch Hochwasser bedingte Risiken sind nicht neu. Ihre Bewältigung ist Teil der Strategie Naturgefahren Schweiz. Diese berücksichtigt bestehende, aber auch zukünftige Unsicherheiten und trägt damit implizit auch Veränderungen durch den Klimawandel Rechnung. Speziell hervorzuheben im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind folgende Stossrichtungen:

- Bereitstellen von Gefahren- und Risikogrundlagen und deren periodische Aktualisierung
- permanentes Monitoring der Entwicklung der Gefahren und Risiken
- Naturgefahren- und klimagerechte Raumnutzung, z. B. mehr Raum für die Gewässer
- Berücksichtigung des Überlastfalls (robust ausgelegte, flexible und überlastbar konzipierte Schutzmassnahmen)

Die Strategie Naturgefahren Schweiz muss weiterhin konsequent umgesetzt werden. Bestehende Aktivitäten sind weiterzuführen und nach Bedarf punktuell zu intensivieren.

7 Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen



- Personenschäden
- Sachschäden



Hangmuren oberhalb von Sachseln am Sarnersee zwischen Totenbüel und Hinter-Büelen (2005)

Foto: Schweizer Luftwaffe

Gebiete mit bekannten Massenbewegungen nehmen 6 bis 8 Prozent der Fläche der Schweiz ein. Betroffen sind insbesondere die Alpen, Voralpen und einige Gebiete im Jura. Die Bedeutung von Massenbewegungen hat den Bund 1997 veranlasst, Empfehlungen zur Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren zu formulieren (BRP et al. 1997, BAFU 2016a).

Bei Massenbewegungen wird zwischen Sturzprozessen, Rutschungen und Fließprozessen unterschieden (BAFU 2016a). Diese können isoliert, aber auch in verschiedenen Kombinationen auftreten.

Sturzprozesse: Bei den Sturzprozessen löst sich Fest- und/oder Lockergestein in steilem Gelände und stürzt ab. Sturzprozesse werden aufgrund ihres Volumens in Berg- und Felsstürze, Block- und Steinschlag gegliedert. Bei einem Bergsturz können die Volumina mehrere Millionen m^3 Gestein betragen, bei einem Felssturz weniger als 1 Million m^3 und bei Block- und Steinschlägen weniger als 100 m^3 (BAFU 2016a).

Rutschungen: Bei den Rutschungen bewegt sich Fest- und/oder Lockergestein auf einer Gleitfläche hangabwärts. Das Wasser im Untergrund spielt dabei eine

wichtige Rolle. Die Rutschgeschwindigkeit einer aktiven Rutschung kann stark über die Zeit variieren. Hält die Bewegung während mehrerer Jahre an, so spricht man von einer permanenten Rutschung. Nimmt sie stark zu, kann ein Prozesswechsel stattfinden und aus der Rutschung eine Hangmure ausbrechen (BAFU 2016a).

Fliessprozesse: Zur Kategorie der Fliessprozesse gehören die Hangmuren und die Murgänge. Bei beiden Prozessen handelt es sich um ein Gemisch aus Erde, Steinen und Wasser, welches zu Tal fließt. Ausserhalb eines Gerinnes spricht man von einer Hangmure, innerhalb eines Gerinnes von einem Murgang. Starke Niederschläge und unterirdische Wasserzuflüsse spielen eine wichtige Rolle für die Auslösung von Fliessprozessen. Murgänge werden jedoch bei den Hochwassergefahren angesiedelt (BWW et al. 1997, BWG 2001) und demzufolge in Kapitel 6 behandelt.

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Im Zeitraum seit 1972 lässt sich bei den Rutschungen kein signifikanter Trend feststellen (Hilker et al. 2009). Hingegen traten Hangmuren in den letzten Jahren in der Schweiz vermehrt auf. Dies kann teilweise auf die be-

obachtete Zunahme von Starkniederschlagsereignissen zurückgeführt werden (BWG 2004). Für die Auslösung von Hangmuren müssen die Niederschlagsintensitäten einen gewissen Schwellenwert überschreiten, der von den hydrogeologischen Verhältnissen und der Wassersättigung des Bodens abhängig ist. Solche Starkniederschläge von kurzer Dauer sind für Gewitterzellen typisch.

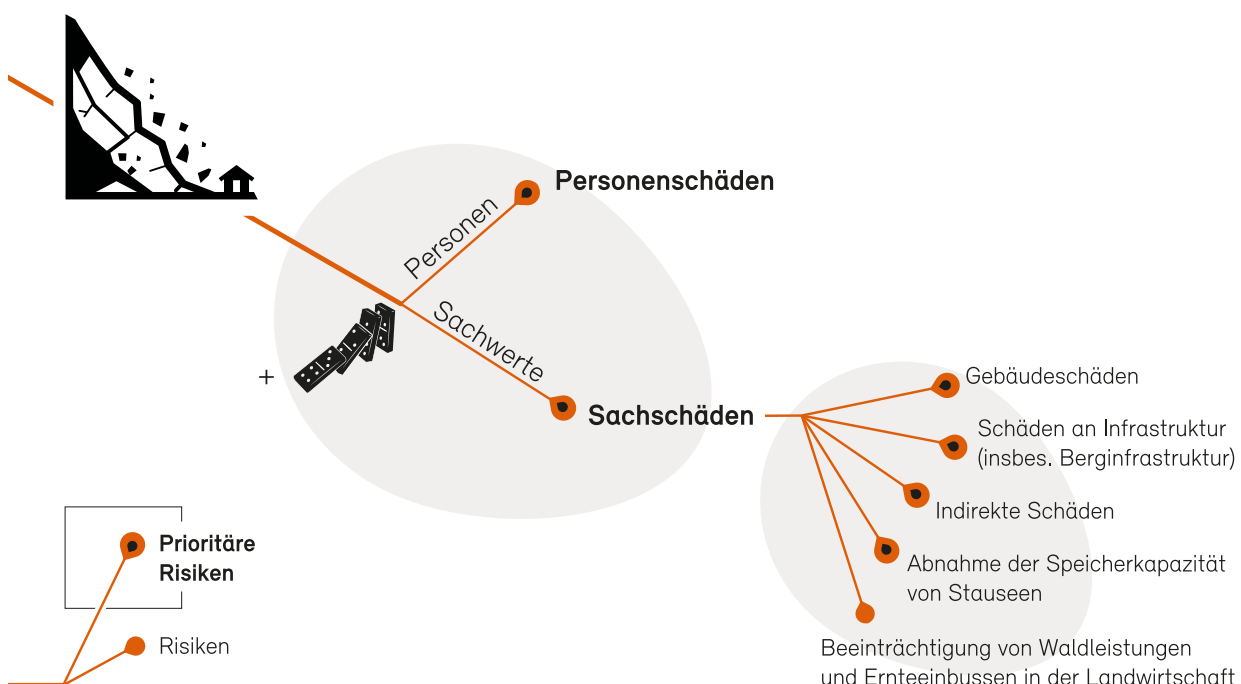
Bei den bisher beobachteten Sturzereignissen besteht kein signifikanter temperaturabhängiger Trend. Eine Häufung von kleineren bis mittleren Ereignissen ist jeweils im Frühjahr im Zusammenhang mit Frost-Tau-Wechsel, Schneeschmelze und den ersten Regenfällen in dieser Jahreszeit feststellbar (Gruner 2008).

Um einzuschätzen, wie sich Sturz-, Rutsch- und Fliessprozesse in einem wärmeren Klima verändern könnten, muss bestimmt werden, wie sich deren Haupteinflussfaktoren – Lockermaterial und Wasserzufluss – verändern könnten.

Einerseits spielen bei den Sturzprozessen die Permafrostdegradation sowie die thermische Ausdehnung eine

Abbildung 33

Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken



wichtige Rolle. Durch die Auftauprozesse im Permafrost können Trennflächen, Entlastungsbrüche und neue Fliesswege im Fels entstehen, Wasser kann eindringen und Sturzereignisse können ausgelöst werden. Der Gletscherrückzug legt Talflanken frei und entlastet diese, so dass neue statische Bedingungen entstehen, die (auch in Kombination mit Niederschlag) zu Sturzereignissen führen können (Kanton Bern 2015).

Andererseits schliessen sich bei höheren Temperaturen Klüfte und Risse in beweglichen Felspartien oder sprödem Gestein infolge von thermischer Ausdehnung (Gruner 2008). Wenn die Anzahl der Frostwechseltage abnimmt, führt dies zu einer Stabilisierung im Fels und der Verwitterungsprozess wird verlangsamt.

Bei den Rutschungen und Hangmuren sind ähnliche Veränderungen von Bedeutung. Die Verfügbarkeit von Lockermaterial kann mit dem Auftauen des Permafrosts und dem Gletscherrückzug zunehmen, während die Abnahme der Frostwechseltage die freigesetzte Menge vermindert.

Mit häufigeren Starkniederschlägen kann der Feststofftransport zunehmen, was sich auf die Verfügbarkeit von Lockermaterial auswirkt. Starkniederschläge, allenfalls in Kombination mit Schneeschmelze, begünstigen die Auslösung von Massenbewegungen. Häufigere und kleinere Ereignisse können dazu führen, dass grosse Ereignisse seltener werden, weil weniger Material zur Verfügung steht (Geo7 2012, SWV 2007).

Da bei den Sturzprozessen, Rutschungen und Hangmuren konkurrierende Faktoren in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten einen mehr oder weniger grossen Einfluss haben, könnten Massenbewegungen sowohl zu- als auch abnehmen. Im Rahmen der Risikoanalyse wurde von folgenden Veränderungen ausgegangen.

Bei den Rutschungen werden häufigere und grössere Ereignisse erwartet. Bei den Hangmuren könnte die Frequenz in den Alpen zunehmen (in den anderen Gebieten sind die Resultate nicht eindeutig). Bezüglich Ausmass werden eine Abnahme in den tieferen Regionen der Alpen und eine Zunahme in den höher gelegenen Gebieten der Alpen erwartet.

Massenbewegungen im Alpen- und Voralpenraum

Im April und Mai 1991 fanden zwei Bergstürze bei Randa (Wallis) statt. Die zwei Abbrüche mit einem Gesamtvolumen von über 30 Mio. m³ führten zum Unterbruch der Bahnlinie und der Strassenverbindung nach Zermatt.

Im August 1994 zerstörte eine Rutschung mehr als 30 Ferienhäuser in Falli-Hölli im Kanton Freiburg. Circa 40. Mio. m³ Erde setzten sich auf einer Fläche von 2 km² in Bewegung. Es entstand ein Schaden von rund 20 Mio. CHF (PLANAT 2016c, Raetzo 1997).

Im Oktober 2000 führte nach anhaltenden, intensiven Regenfällen ein Erdrutsch zu grossen Schäden am Dorf Gondo (Wallis). 13 Menschen kamen dabei ums Leben.

Im Juli 2006 brachen circa 500 000 m³ Gestein am Eiger oberhalb von Grindelwald ab und stürzten auf den Unteren Grindelwaldgletscher. Grund für den Felssturz waren Spannungen in der Bergflanke, die durch den Rückgang des Gletschers entstanden waren (PLANAT 2017a).

Sowohl im Sommer 2003 als auch im Sommer 2015 führten die Auftauprozesse im Permafrost zu einer Häufung von Sturzereignissen. Im Hitzesommer 2003 wurden insbesondere zwischen Juni und August eine grosse Zahl von Felsstürzen im gesamten Alpenraum, insbesondere in den oberen Höhenlagen und an nordexponierten Hängen, beobachtet. Als plausible Erklärung gilt die Degradierung des Permafrosts aufgrund der hohen Temperaturen (OcCC/SCNAT 2005, PLANAT 2016g, FS8). Gemäss Modellrechnungen könnte der Permafrost im Sommer 2003 1,5 Meter tiefer aufgetaut sein als in den Jahren 1980 – 2000 (BUWAL et al. 2004). Die Temperaturen im Permafrost erreichten 2015 an vielen Orten neue Höchstwerte. Im Gegensatz zu 2003 war der Sommer 2015 durch eine hohe Anzahl an Starkniederschlagsereignissen gekennzeichnet, die teilweise für die Sturzereignisse verantwortlich waren (SLF 2017).

Bei den Steinschlägen und den Felsstürzen spielt die Höhe eine entscheidende Rolle. Bei den Steinschlägen könnte die Frequenz in den Alpen zu- und in den Voralpen bzw. in der Südschweiz abnehmen, während beim Ausmass mehrheitlich ein Rückgang erwartet wird. Bei den Felsstürzen ist in den Alpen von einer Zunahme auszugehen, sowohl bezüglich Frequenz als auch bezüglich Ausmass (FS7, Geo7 2012, PLANAT 2016d). Bei der Interpretation der Resultate ist darauf zu achten, dass es auch in den Alpen tief gelegene und in den Voralpen hoch gelegene Gebiete gibt und die Veränderungen von den lokalen Gegebenheiten abhängig sind.

Aufgrund des Auftauens des Permafrosts und des Gletscherrückzugs können Massenbewegungen auch in Gebieten auftreten, die bisher nicht davon betroffen waren (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Hauptbetroffen sind Gebiete oberhalb von 2000 bis 2200 Meter über Meer, wo das Schadenpotenzial gering ist. Örtlich können solche Veränderungen im periglazialen bzw. unvergletscherten Gebiet auch Auswirkungen auf tiefer liegende Regionen haben, dies aber nicht flächendeckend und in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen. Beispiele hierfür sind Ritigraben VS, Unterer Grindelwaldgletscher BE, Glacier de la Plaine Morte VS/BE, Val Bondasca GR.

Abbildung 33 zeigt die prioritären und nicht-prioritären Risiken aufgrund der Herausforderung «Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen».

7.1 Zunahme der Personenschäden

Personenschäden im Zusammenhang mit abnehmender Hangstabilität und häufigeren Massenbewegungen werden in Kapitel 6.1 zusammen mit den Personenschäden durch Hochwasser, Sturm und Blitzschlag behandelt.

7.2 Zunahme der Sachschäden

Schweizweit machen Schäden, die durch Massenbewegungen verursacht werden, nur etwas über 1 Prozent der gesamten Gebäudeschäden aus (Schweizerische Eidgenossenschaft 2016). Bezogen auf die Kantone in den Vor-

alpen oder Alpen ist dieser Anteil jedoch deutlich grösser und kann, z. B. in den Freiburger Voralpen, 25 % erreichen (FS3).

Neben den direkten Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen, Infrastrukturen etc. sind auch die indirekten Schäden zu berücksichtigen. Dazu zählen etwa die Folgen der Sperrung von Verkehrsachsen oder Ertragsausfälle im Tourismus. Extreme Sturzereignisse können Verkehrsverbindungen während mehrerer Wochen bis Monate unterbrechen, mit volkswirtschaftlichen Schäden, die räumlich weit über den Ort des Ereignisses hinausreichen (FS8). Werden Schutzwälder beschädigt oder zerstört, können sich hohe Folgeschäden in Siedlungen und Infrastrukturen ergeben und unter Umständen hohe Kosten für technische Schutzmassnahmen anfallen (vgl. Kapitel 4.2). Potenziell gefährdet ist insbesondere die touristisch genutzte Infrastruktur im Berggebiet (FS3, FS7).

Entscheidend für die Schadensauswirkung sind hauptsächlich die Geschwindigkeit, die Fliesshöhe und die Menge des umgelagerten Materials. Bei Rutschungen sind es zudem die unterschiedlich erfolgenden Bewegungen der einzelnen Schollen, die die Stabilität von Bauwerken gefährden können (PLANAT 2016d).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

In den Fallstudien Freiburg, Tessin und Uri wurde ermittelt, welche Schäden heutige, 100-jährliche Rutsch- und Sturzereignisse verursachen würden (FS3, FS7, FS8). Einbezogen wurden Schäden an Gebäuden, Fahrwege und Verkehrsinfrastruktur sowie eine grobe Schätzung der indirekten Folgen dieser Schäden. Im Kanton Freiburg wurden sie auf circa 40 Mio. CHF geschätzt, im Tessin könnten sie circa 30 Mio. CHF betragen und im Kanton Uri rund 20 Mio. CHF (in dieser Zahl sind die Sturzprozesse nicht berücksichtigt).

So wird zum Beispiel in der Fallstudie Uri (FS8) auf der Basis der Veränderungen bei den Starkniederschlagsereignissen, beim Permafrost und bei den Gletschern davon ausgegangen, dass die durch Rutschprozesse verursachten Schäden in tiefen Lagen um 20 Prozent zunehmen und die entsprechenden Schäden durch Sturzprozesse um 10 Prozent abnehmen.

Im Tessin wurde die mögliche Schadensentwicklung anhand historischer Ereignisse im Zeitfenster 2000–2014 ermittelt. Dabei wurde die klimabedingte Veränderung der meteorologischen Gegebenheiten, die während dieser Ereignisse vorherrschten, modelliert. Auf dieser Grundlage wurde geschätzt, dass die Schäden eines 100-jährlichen Rutschereignisses um rund 50 % zunehmen könnten. Die Veränderung bei den durch Sturzereignisse verursachten Schäden ist weniger eindeutig. Sie fällt je nach Grösse des Ereignisses und Höhenlage unterschiedlich aus.

Nebst den direkten Veränderungen könnten indirekte Auswirkungen im Zusammenhang mit der Zunahme der Geschiebefracht in Gewässern stark an Bedeutung gewinnen. So könnten flache Gewässerabschnitte häufiger mit Geschiebe gefüllt werden, und der Aufwand für den Unterhalt der Gewässer könnte deutlich zunehmen (Kanton Bern 2015).

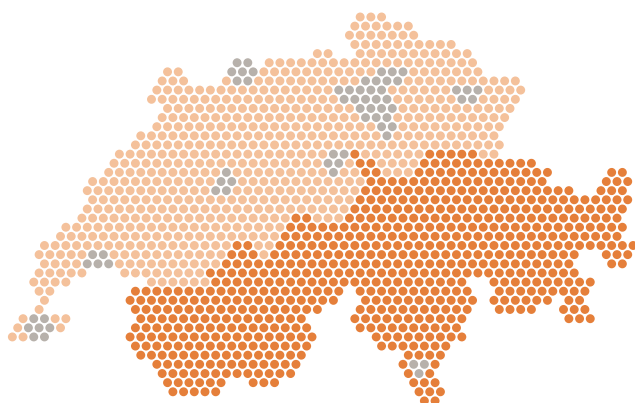
Die möglichen klimabedingten Veränderungen der Sachschäden von 100-jährlichen Ereignissen sind in Abbildung 34 dargestellt. Bedeutende Veränderungen werden im alpinen Raum und in der Südschweiz erwartet. In den Alpen spielen Veränderungen sowohl in Bezug auf Rutsch- als auch auf Sturzprozesse eine grosse Rolle. In der Südschweiz führen die Veränderungen in den Niederschlagsmengen, insbesondere bei den Starkniederschlägen, zu erheblichen Auswirkungen.

Abbildung 34

Veränderung der Sachschäden durch abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- nicht relevant



Ähnlich wie bei den Hochwasserrisiken (Kapitel 6), sind auch im Zusammenhang mit Massenbewegungen die sozioökonomischen Veränderungen ein wichtiger Faktor bezüglich der Entwicklung der Risiken. Die intensivere Raumnutzung, die Zunahme der Sachwerte und der Verletzlichkeit der Gesellschaft sowie die Entwicklung im Berggebiet (z.B. Ausbau der touristischen Infrastruktur, Zunahme der Verletzlichkeit der Verkehrsinfrastruktur) sind bestimmend für das Sachschadenpotenzial (FS3, FS5, Schweizerische Eidgenossenschaft 2016). Interessenskonflikte bestehen zwischen dem Ausbau des touristischen Angebots und der Siedlungsentwicklung einerseits und der Vermeidung von Sachschäden aufgrund von Massenbewegungen andererseits (Jörin et al. 2016).

Aufgrund der klimabedingten Veränderung sowie den weiteren Bewertungskriterien wird die Zunahme der Sachschäden in den Alpen, Voralpen und der Südschweiz als prioritäres Risiko eingestuft (Abb. 35).

Abbildung 35

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Sachschäden durch abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Auch bei den Massenbewegungen ist es – wie beim vHochwasser (Kapitel 6) – zentral, die Strategie Naturgefahren Schweiz konsequent umzusetzen. Insbesondere müssen Gebiete überwacht werden, die potenziell von Permafrostdegradation und Gletscherrückzug betroffen sind, da sich die Gefahrensituation an diesen Orten in Zukunft grundlegend verändern könnte. Die Methodik zum Erkennen neuer Naturgefahrenprozesse bzw. von Veränderungen an bekannten Gefahrenstellen infolge des Klimawandels ist weiterzuentwickeln und zu verbessern (BAFU 2012b). Besonderes Augenmerk ist Situationen zu schenken, wo externe Einflüsse (z. B. anhaltender Starkregen oder Phasen überdurchschnittlich hoher Temperaturen) zur Destabilisierung grosser Materialmengen führen könnten. Diese müssen rechtzeitig erkannt und überwacht werden. Die Betroffenheit durch Massenbewegungen und deren klimabedingte Veränderung ist örtlich sehr unterschiedlich, weshalb Massnahmen für jeden Einzelfall gesondert geplant und umgesetzt werden müssen.v

8 Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität



- Personenschäden
- Sturmschäden
- Hagelschäden



Schaden durch Sturmtief «Andrea» im Walliser Bezirk Martigny (2012)

Foto: Laurent Gillieron/Keystone

Stürme und Hagel haben in der Vergangenheit grosse Schäden verursacht. Es ist jedoch unklar, wie sich diese beiden Prozesse mit dem Klimawandel verändern könnten. Da kleine Veränderungen meteorologischer Parameter das Schadensausmass drastisch erhöhen könnten, gilt es, diese Risiken eng zu verfolgen und vorhandene Lücken beim Prozessverständnis und bei der Datenverfügbarkeit möglichst rasch zu schliessen.

Ein Sturm ist durch Windgeschwindigkeiten von über 75 km/h, ein Orkan durch solche über 118 km/h definiert. In vielen Regionen der Schweiz werden solche Windge-

schwindigkeiten vor allem im Herbst und im Winter registriert. Sturm- oder Orkanwinde können entstehen, wenn eine Kaltfront eines nördlich der Schweiz gelegenen Tiefdruckgebietes über die Landesfläche zieht. Oft betreffen sie mehrere Länder. In hoch gelegenen, exponierten Lagen sowie (je nach Orientierung der Talachse) in gewissen Alpenrandgebieten treten generell höhere Windgeschwindigkeiten auf (WSL & BUWAL 2001, PLANAT 2016f, BAFU 2016e). Im Folgenden wird nicht zwischen Sturm und Orkan unterschieden; der Begriff Sturm wird für beide Phänomene verwendet.

Stürme können gruppiert in sogenannten Familien auftreten. Unter gewissen grossräumigen meteorologischen Bedingungen treffen mehrere Stürme in einem relativ kurzen Zeitraum auf eine Region und können so zu Todesopfern und erheblichen sozioökonomischen Schäden führen (Karremann et al. 2014).

Hagel entsteht durchschnittlich in jedem zehnten Gewitter. Die sogenannten Wärmegewitter treten hauptsächlich im Sommer auf. Die Luftmassen an der Erdoberfläche erwärmen sich und steigen, durch atmosphärische Instabilität und oftmals auch durch starke Topografie begünstigt, auf. Hagelkörner können bis über 10 cm gross werden. Im Gegensatz zu Sturm ist Hagel ein eher kleinräumiges Phänomen, das vor allem im Mittelland, im Jura, in den Voralpen und in der Südschweiz vorkommt. Die Alpen sind davon weniger stark betroffen (Schweizerische Eidgenossenschaft 2016, Nisi et al. 2016).

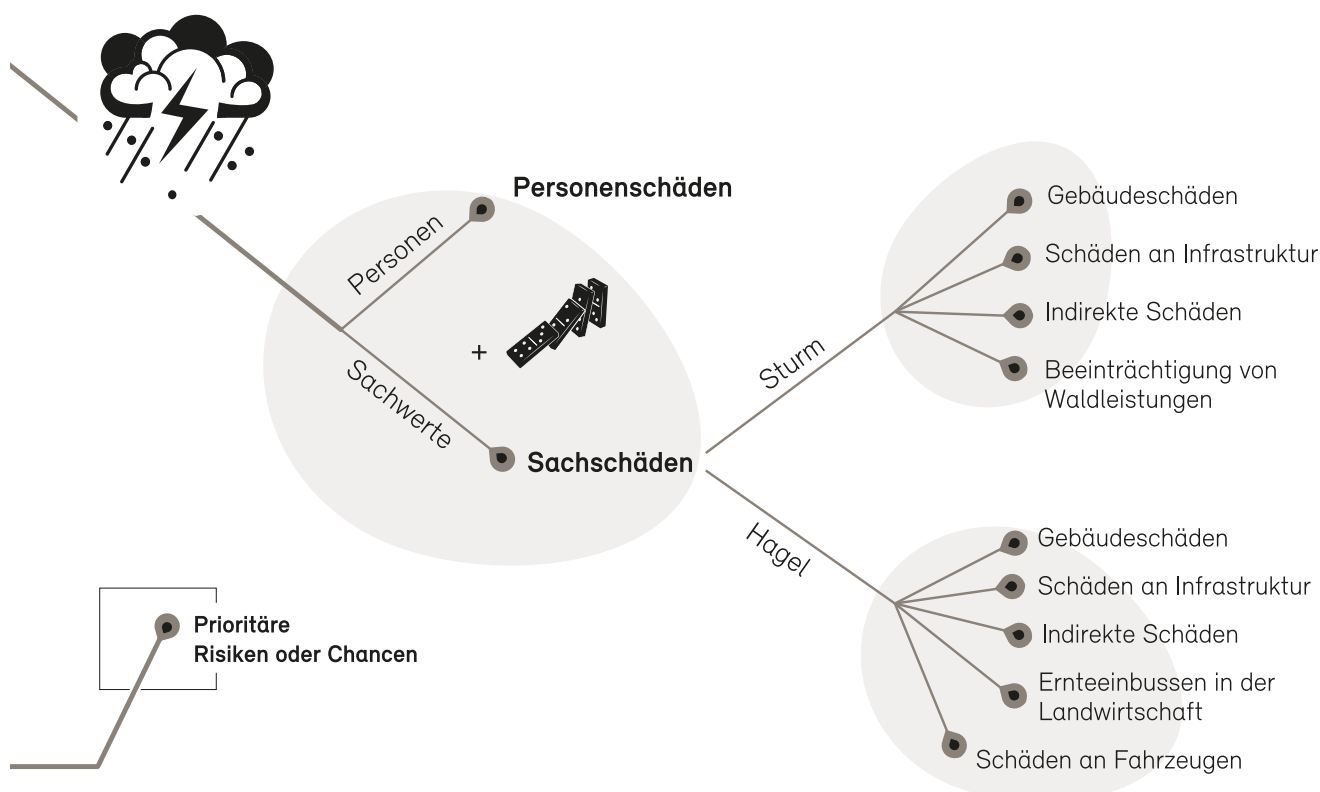
Beobachtete und erwartete Entwicklung

Sturm: Das 20. Jahrhundert war durch eine anfängliche Periode intensiver und zahlreicher Stürme geprägt. Diese dauerte bis circa 1920. In der darauffolgenden Phase (1920 – 1970) war die Sturmaktivität schwach bis mässig. Ab 1970 ist eine graduelle Zunahme der Aktivität bis zu den extremen Stürmen in den 1990er-Jahren feststellbar. Seither sind wieder etwas weniger Stürme aufgetreten (Stucki et al. 2014).

Klimamodelle weisen für die Schweiz unterschiedliche Tendenzen bezüglich der Entwicklung von Stürmen unter veränderten klimatischen Bedingungen auf. Da wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann, ist mehr latente Energie in der Atmosphäre vorhanden. Daher ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass Stürme intensiver werden könnten. Da sich die Arktis und die äquatorialen Bereiche unterschiedlich erwärmen, wird sich der grossräumige Temperaturgradient ändern, was Auswirkungen auf die Zugbahnen haben wird (CH2011 2011). Relevant ist auch, dass sich die Schweiz an der Grenze der Gebiete

Abbildung 36

Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität: Übersicht über die potenziellen, prioritären Risiken oder Chancen



Orkan Lothar, 26. Dezember 1999

Der Orkan Lothar verursachte in der Schweiz einen Schaden von fast 1,8 Mrd. CHF, der grösste Teil davon betraf Waldflächen und Gebäude. 14 Menschen fielen dem Sturm zum Opfer, mindestens 15 starben bei den nachträglichen Räumungsarbeiten.

Die Waldschäden umfassten circa 13 Mio. m³ Holz. Das entspricht dem Dreifachen der jährlichen Einschlagmenge und circa 3 Prozent des Holzvorrates der Schweiz. Die Schadensumme durch Schäden im Wald wurde auf über 750 Mio. CHF geschätzt. Neben den Schäden im Wald verursachte der Orkan Gebäudeschäden in der Höhe von rund 600 Mio. CHF und Schäden an Mobiliar von rund 125 Mio. CHF.

Zahlreiche Strassen und Bahnstrecken mussten wegen umgestürzter Bäume gesperrt werden. Auch Schiffe und Hafenanlagen sowie Flugzeuge und Flughafeninfrastrukturen wurden beschädigt. Telekommunikationsleitungen und das Stromnetz waren schwer betroffen. Die indirekten Folgen (z. B. ökonomische Einbussen) waren erheblich, lassen sich aber nicht quantifizieren (WSL & BUWAL 2001). Folgeschäden durch Schadorganismen im Wald werden in Kapitel 11 behandelt.

mit Zunahme (Nordeuropa) beziehungsweise Abnahme (Südeuropa) der Intensität von Tiefdruckgebieten und der dazugehörigen Sturmwinde befindet. Aufgrund dieser konkurrierenden Faktoren und der Komplexität der involvierten Prozesse ist es nicht möglich, robuste Aussagen zur Veränderung von Stürmen in einem wärmeren Klima in der Schweiz zu machen. In den kantonalen Fallstudien wurde deshalb anhand von Sensitivitätsanalysen abgeschätzt, inwiefern eine Zu- bzw. Abnahme der Sturmaktivität um 50 Prozent die Risiken verändern könnte.

Hagel: Die räumliche Auflösung der meisten Klimamodelle ist zu grob, um Gewitter zu simulieren. Viele Studien zur Entwicklung von Hagel in einem wärmeren Klima beruhen deshalb auf dem Zusammenhang zwischen grossräumigen Wetterlagen und Gewitterereignissen.

Bei den Hagelgewittern ist es schwierig, einen längerfristigen Trend zu erkennen. Die Schwankungen innerhalb und zwischen den einzelnen Jahren sind sehr gross (Nisi et al. 2016, Mohr et al. 2015, Kapsch et al. 2012). Wie bei den Stürmen wurden in den Fallstudien mögliche Veränderungen mittels Sensitivitätsanalysen grob abgeschätzt.

Abbildung 36 zeigt die potenziellen prioritären Risiken oder Chancen aufgrund der Herausforderung «Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität».

8.1 Zu- oder Abnahme der Personenschäden durch Veränderung der Sturmaktivität

Personenschäden im Zusammenhang mit der Veränderung der Sturmaktivität wurden in Kapitel 6.1 zusammen mit den Personenschäden durch die Gefahren Hochwasser, Massenbewegungen und Blitzschlag behandelt.

8.2 Zu- oder Abnahme der Sachschäden durch Veränderung der Sturmaktivität

Aufgrund der grossen betroffenen Fläche können sturmbedingte Sachschäden ein beträchtliches Ausmass erreichen. Das schweizweite, versicherte Sachschadenpotenzial (inkl. Betriebsunterbruch, aber ohne Infrastrukturschäden, da diese nicht versichert sind) eines 100-jährlichen Ereignisses wird auf circa 2 Mrd. CHF geschätzt (Swiss Re 2012). Kommen noch Schäden in weiteren Sektoren sowie indirekte Auswirkungen dazu, ist das Potenzial noch höher.

Sturmbedingte Gebäudeschäden entstehen sowohl durch Druck- wie auch Sogwirkungen der Windböen. Generell sind die Druck- und Sogwirkungen umso grösser, je höher die Windgeschwindigkeit ist. Eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit ist gleichbedeutend mit einer Vervielfachung der auf das Objekt wirkenden Kraft (Weidmann 2010).

Bei Gebäuden sind es oftmals Dächer, Fassaden und Storen, die beschädigt werden. Schäden entstehen auch, wenn lose Gegenstände herumgewirbelt werden oder Wasser in beschädigte Gebäude eindringt. Zu den

indirekten Schäden zählen Auswirkungen auf Produktion und Dienstleistungen in betroffenen Gebäuden der Privatwirtschaft. Bedeutende Folgeschäden können entstehen, wenn Verkehrswege unterbrochen oder Kommunikations- und Energieversorgungsinfrastrukturen beschädigt werden.

Bei den Waldschäden sind es vor allem Umweltfaktoren, Baummerkmale und Bestandesverhältnisse, welche die Höhe der Schäden bestimmen. Die Windstärke und die lokalen Gegebenheiten (Topografie, Bodeneigenschaften usw.) sind wichtige Determinanten für das Schadensausmass. Baumarten weisen aufgrund ihres Wurzelsystems, ihrer Höhe usw. eine unterschiedliche Widerstandskraft gegenüber Windwurf auf. Auch das Alter eines Bestandes, die Durchmischung und die Häufigkeit der Durchforstung wirken sich bei Sturmereignissen aus.

Nebst der Beeinträchtigung der Holzproduktion können Stürme auch dazu führen, dass die Schutzfunktion der Wälder beeinträchtigt ist oder sogar komplett ausfällt. Dadurch drohen hohe Folgeschäden in Siedlungen und bei Infrastrukturen und eventuell hohe Kosten für technische Schutzmassnahmen (FS3, FS7).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Im Zeitraum zwischen 1950 und 2010 haben die ökonomischen Schäden von Stürmen (inkl. Waldschäden) in der Schweiz zugenommen. Langjährige Trends sind allerdings stark beeinflusst durch Einzelereignisse. In der Schweiz prägen die Schäden der Stürme Vivian (1990) und Lothar (1999) die Statistik der letzten Jahrzehnte (Stucki et al. 2014, Usbeck et al. 2010). Aus heutiger Sicht spielen sozioökonomische Faktoren für die Entwicklung der Schäden eine klar dominierende Rolle im Vergleich zu klimabedingten Einflüssen.

Im heutigen Klima beträgt der Gebäudeschaden eines 100-jährlichen Sturmereignisses gemäss der Fallstudie Basel-Stadt rund 60 Mio. CHF (FS2). In Kantonen, in denen die Waldfläche grösser ist, kommt ein ähnlich grosser Anteil an Waldschäden dazu. So werden die Sturmschäden im Kanton Freiburg auf circa 150 Mio. CHF geschätzt, wovon etwa die Hälfte auf Waldschäden zurückzuführen ist (FS3).

Da Klimamodelle unterschiedliche Tendenzen bezüglich der Entwicklung von Stürmen unter veränderten klimatischen Bedingungen aufweisen, ist es nicht möglich, Aussagen zur möglichen Veränderung von sturmbedingten Sachschäden bis 2060 zu machen (siehe die Einleitung zu Kapitel 8). Trotzdem wird die Veränderung von Sachschäden durch Veränderung der Sturmaktivität prioritär behandelt. Die Gründe dafür sind:

- Bereits unter heutigen klimatischen Bedingungen ist das sturmbedingte Sachschadenpotenzial beträchtlich.
- Aufgrund der hohen Nichtlinearität des Systems könnten kleine klimatische Veränderungen grosse Auswirkungen auf durch Stürme (und insbesondere extreme Stürme) verursachte Schäden haben.
- Sensitivitätsanalysen im Rahmen der Fallstudien zeigen, dass Veränderungen der Sturmschäden die gesamten durch Naturgefahren verursachten Schäden massgeblich bestimmen.

Da keine Aussage über die klimabedingte Veränderung von Schäden möglich ist, wird nachstehend die Situation heute dargestellt. Als Mass wird, wie auch bei den anderen Naturgefahren, ein 100-jährliches Ereignis genommen.

Gemäss den Fallstudien bestehen im heutigen Klima bedeutende Schadenpotenziale in den grossen Agglomerationen und im Mittelland (hohe Wertekonzentration) sowie in den Voralpen (grosse Waldflächen). Die Alpen, die Südschweiz und der Jura sind weniger stark betroffen, da die Exposition von Sachwerten hier deutlich geringer ist (Abb. 37).

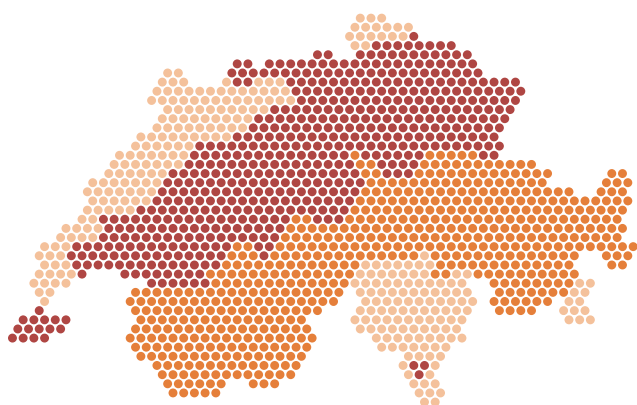
Die Verletzbarkeit der Gebäudehülle – insbesondere diejenige von Dächern, Fassaden und Lamellenstoren – kann die Risiken für Sturmschäden deutlich verschärfen (Weidmann 2010). Gleichzeitig können bei grossen Ereignissen kritische Infrastrukturen direkt oder indirekt betroffen sein (z. B. Unterbruch wichtiger Verkehrsachsen). Dazu kommt, dass seit dem Orkan Lothar (1999) die Schweiz nicht mehr von schweren Stürmen betroffen war. Dies könnte zur Folge haben, dass die Fähigkeit der Schweiz zur Anpassung an Sturmereignisse abnimmt (Jörin et al. 2016).

Abbildung 37

Potenzielle Sachschäden durch Stürme pro Grossraum

Heutiges Risiko:

- gering
- moderat
- bedeutend



Aufgrund der bestehenden, hohen Schadenpotenziale sowie der weiteren Bewertungskriterien werden Sachschäden durch die Veränderung der Sturmaktivität in allen Regionen als prioritäres Risiko bzw. prioritäre Chance eingestuft (Abb. 38).

Abbildung 38

Grossräume, in welchen Sachschäden durch die Veränderung der Sturmaktivität prioritäre Bedeutung haben



Anpassungsmassnahmen

Wichtige Massnahmen im Bereich der Prävention von Waldschäden sind die Verjüngung, die Förderung stabiler, anpassungs- und widerstandsfähiger Waldbestände sowie die Verhinderung der Massenvermehrung von Schadorganismen in kritischen Schutzwäldern (BAFU 2012b). Speziell bei Risiken, bei denen die zukünftige Entwicklung noch ungewiss ist, sind Massnahmen im Bereich des Monitorings und der Forschung von vorrangiger Bedeutung. Die Waldbewirtschaftung im Klimawandel wurde im vom BAFU und der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) 2009 initiierten Forschungsprogramm Wald und Klimawandel vertieft untersucht (Pluess et al. 2016). Darauf aufbauend werden gegenwärtig Grundlagen für die praktische Umsetzung der Forschungsergebnisse auf die diversen Waldstandorte der Schweiz erarbeitet und publiziert.

8.3 Zu- oder Abnahme der Schäden durch Hagel

Die Ausdehnung von Hagelgewittern ist deutlich geringer als diejenige von Stürmen, lokal können sie jedoch sehr heftig und mit erheblichen Schäden verbunden sein. In erster Linie sind Gebäude, landwirtschaftliche Kulturen oder Fahrzeuge betroffen (Nisi et al. 2016). Das schweizweite versicherte Sachschadenpotenzial (inkl. Betriebsunterbruch) eines 100-jährlichen Ereignisses wird auf circa 1,3 Mrd. CHF geschätzt (Swiss Re 2012).

Der grösste Teil der Hagelschäden an Gebäuden besteht aus Schäden an Storen, Dächern, Wänden oder Fassaden (Imhof et al. 2015). Dabei schlagen Hagelkörner oft Löcher in Dächer, sodass Wasser in das Gebäude eindringen kann und weitere Schäden entstehen. Hagelkörner können grosse Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen im Freien und an Gewächshäusern anrichten. Zudem verursachen sie teure Schäden an Fahrzeugen (FS1, FS7, PLANAT 2016e), indem sie die Karosserie beschädigen oder, bei besonders grossen Ereignissen, Windschutzscheiben, Scheinwerfer oder Fahrtrichtungsanzeiger zerstören.

Seit den 1990er-Jahren haben die versicherten, durch Hagel verursachten Gebäudeschäden deutlich zugenom-

men (Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen 2007). Gründe dafür sind die zunehmende Exposition (mehr Gebäude in Gebieten mit Hagelereignissen) und grössere Verletzlichkeit (Verwendung von hagelempfindlicheren Materialien) sowie eine mögliche Veränderung der Gefährdung durch die Witterungsbedingungen.

Hagelschäden im Kanton Aargau, Juli 2011

Die Aargauische Gebäudeversicherung verzeichnete im Juli 2011 Hagelschäden in der Höhe von 145 Mio. CHF. Das entspricht dem grössten Elementarschaden-Einzelereignis im Aargau seit dem Beginn der Elementarschadendeckung im Jahr 1941. Dazu kommen versicherte und nicht versicherte Schäden an Fahrzeugen in einer ähnlichen Grössenordnung sowie je circa 10 Mio. CHF versicherte und nicht versicherte Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen.

(Quellen: AGV 2011, FS1, Imhof et al. 2015)

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Analysen deuten darauf hin, dass vier verschiedene Wetterlagen, die mit schadenverursachenden Hagelgewittern im Zusammenhang stehen, in den letzten Jahrzehnten zugenommen haben. Auch zeigen Klimaprojektionen eine leichte Zunahme (+7 bis +15%) der Anzahl Tage mit Hagel für die Periode 2031 – 2045 im Vergleich zur Periode 1971 – 2000 (Kapsch et al. 2012).

Wie bei den sturmbedingten Schäden ist es nicht möglich, eine Tendenz bezüglich der Veränderung der durch Hagel verursachten Schäden zu ermitteln (siehe die Einleitung zu Kapitel 8). Deshalb wird nachstehend die Situation heute dargestellt. Als Mass wird, wie auch bei den anderen Naturgefahren, ein 100-jährliches Ereignis genommen.

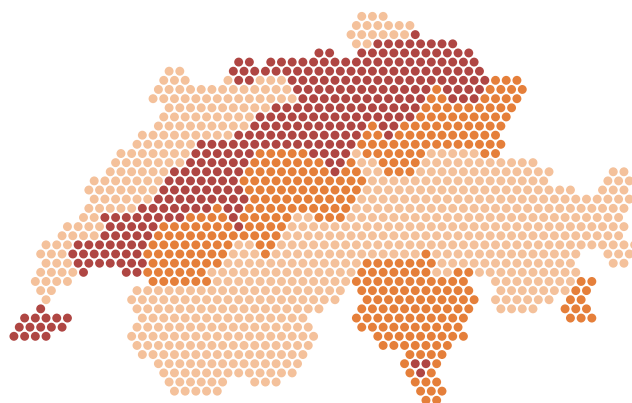
Im heutigen Klima bestehen bedeutende Schadenpotenziale im Mittelland (hohe Wertekonzentration und intensive landwirtschaftliche Nutzung) und in den grossen Agglomerationen (hohe Wertekonzentration). In den Alpen und im Jura ist das heutige Risiko gering. Voralpen und Südschweiz haben zwar eine relativ hohe Gefährdung, die Exposition ist dort jedoch kleiner (Abb. 39).

Abbildung 39

Potenzielle Sachschäden durch Hagel pro Grossraum

Heutiges Risiko:

- gering
- moderat
- bedeutend



Im Gebäudebereich hängt das Schadensausmass stark von der Empfindlichkeit der verwendeten Baumaterialien und Bauteile ab. Der Wandel vom vorwiegenden Einsatz von Naturstein, Blech und Ziegeln hin zu grossen Glasfasaden mit Beschattungsvorrichtungen und der vermehrte Einsatz von Solarelementen haben das Schadenpotenzial in den letzten Jahrzehnten beträchtlich erhöht. Zudem haben die Ansprüche hinsichtlich Versicherungsleistungen zugenommen. So werden heutzutage auch kleinere Schäden an Fahrzeugen repariert, die deren Funktionsfähigkeit in keiner Weise beeinträchtigen. Die Anpassungsfähigkeit an Hagelrisiken wird als relativ tief eingeschätzt. Gründe dafür sind eine tiefe Risikowahrnehmung und -gewichtung, der fehlende politische Auftrag sowie ein geringer Wissenstransfer unter den Akteuren (Jörin et al. 2016).

Diese Faktoren sowie die heutigen hohen Schadenpotenziale und die grossen Unsicherheiten, die mit Extremereignissen verbunden sind, tragen dazu bei, dass die Veränderung der Hagelaktivität in allen Regionen als prioritäres Risiko bzw. prioritäre Chance eingestuft wird (Abb. 40).

Abbildung 40

Grossräume, in welchen Sachschäden durch die Veränderung der Hagelaktivität prioritäre Bedeutung haben

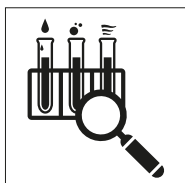


Anpassungsmassnahmen

Da die klimabedingte Veränderung der Hagelaktivität nicht genau bekannt ist, besteht hier zusätzlicher Forschungsbedarf. Auch verbesserte Überwachungs- und Warnsysteme könnten zur Reduktion von Schäden beitragen, indem sie es z.B. Fahrzeughaltern erlauben, ihre Fahrzeuge rechtzeitig in Sicherheit zu bringen oder mit geeigneten Mitteln zu schützen.

Zur Prävention von Hagelschäden an Gebäuden müssen widerstandsfähige, hagelresistente Materialien entwickelt und beim Neubau von Gebäuden konsequent eingesetzt werden. In der Landwirtschaft bieten sogenannte Hagelnetze einen guten Schutz für wertintensive Dauerkulturen.

9 Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität



Cyanobakterien auf der Oberfläche des Etang de la Gruère (2013)

Foto: Centre Nature Les Cerlatez

Sich verändernde Charakteristiken des Klimas beeinflussen die Umweltmilieus Wasser, Boden und Luft. Beispiele sind Trockenperioden, die sich auf die Wasser- und Bodenqualität auswirken, oder Hitzewellen, die zur Verschlechterung der Luftqualität führen. Daraus ergeben sich zahlreiche Risiken für die Natur und den Menschen.

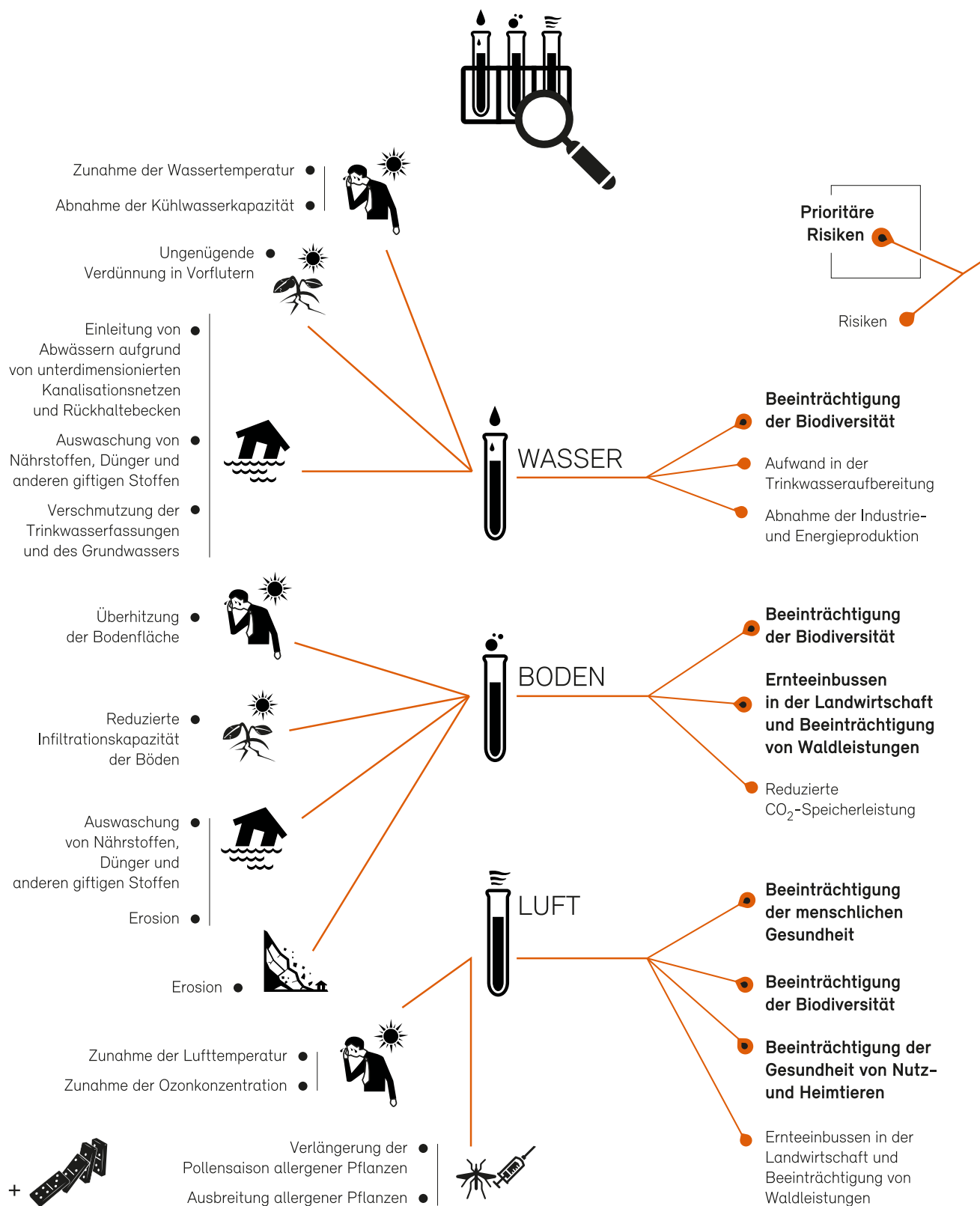
In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasser-, Boden- und Luftqualität und die daraus resultierenden (prioritären und nicht-prioritären) Risiken kurz charakterisiert. Die

prioritären Risiken, die mit der Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität verbunden sind, werden unter den Herausforderungen Hitzebelastung, Trockenheit, Hochwasser, Massenbewegungen sowie Schadorganismen (Kapitel 3, 4, 6, 7 sowie 11) abgehandelt. Abbildung 41 gibt eine Übersicht über die relevanten Risiken.¹⁶

¹⁶ Die Auswirkungen des Klimawandels sind in Abbildung 41 vereinfacht dargestellt. So ist z.B. die Zunahme der Wassertemperatur der Herausforderung «Grössere Hitzebelastung» zugeordnet, obwohl diese Auswirkung nicht nur durch Hitze, sondern durch einen allgemeinen Anstieg der Mitteltemperaturen verursacht wird.

Abbildung 41

Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken



Die absolute Menge der Schadstoffe, die in die Umweltmilieus Wasser, Boden und Luft gelangt, wird durch anthropogene Aktivitäten beeinflusst, die hauptsächlich mit der Nutzung des Bodens, der Industrie und dem Verkehr zusammenhängen. Der Klimawandel beeinflusst die Qualität dieser Milieus indirekt, indem er die Häufigkeit und Intensität von Wetterlagen, von daran gekoppelten Zuständen der Atmosphäre sowie von verschiedenen anderen natürlichen Prozessen (Humusabbau, Sauerstoffbindung im Wasser usw.) verändert. Darüber hinaus beeinflusst der Klimawandel auch die relative Schadstoffmenge in einem Umweltmilieu, beispielsweise in Flüssen während Trockenperioden: Selbst wenn sich der Schadstoffeintrag in ein Fließgewässer nicht erhöht, steigen die Schadstoffkonzentrationen, wenn die Wassermenge sinkt.

Die Umweltmilieus Wasser, Boden und Luft beeinflussen einander gegenseitig und wirken gleichzeitig auf weitere Umweltkomponenten ein. Einerseits kann eine schlechte Wasser-, Boden- oder Luftqualität den Zustand natürlicher Lebensräume und der dort vorkommenden Arten beeinträchtigen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Andererseits wirken sich Veränderungen der Biodiversität aufgrund beeinträchtigter Ökosystemleistungen auf die Qualität von Wasser, Boden und Luft aus.

9.1 Beeinträchtigung der Wasserqualität

Wasser ist die Grundlage allen Lebens; es spielt für die Gesellschaft wie auch für die Natur eine zentrale Rolle. Eine einwandfreie Wasserqualität und eine natürliche Schwankungsbreite bei den Wassertemperaturen sind einerseits Voraussetzung dafür, dass die für Tiere und Pflanzen wichtigen aquatischen Lebensräume erhalten bleiben oder wiederhergestellt werden können. Sauberes Wasser ist andererseits für zahlreiche menschliche Nutzungen notwendig, sei es als Trinkwasser, als Medium für Freizeitaktivitäten, für die Produktion von Nahrungsmitteln, für medizinische Anwendungen etc. (Reynard 2008). Die Beeinträchtigung der Wasserqualität ist daher mit grossen Risiken für Mensch und Natur verbunden.

Die Wassertemperatur in stehenden Gewässern und Flüssen wird in erster Linie durch den Zustrom von Schmelz- und Grundwasser sowie durch die Lufttemperatur beein-

flusst. Die Wassertemperaturen haben in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen (BAFU 2012a). Die Gewässertemperatur ist für wechselwarme Wasserorganismen wie Fische und wirbellose Kleinlebewesen einer der wichtigsten Umweltfaktoren. Sie beeinflusst u. a. deren Stoffwechsel, Immunsystem und Entwicklungsstadien (Dübendorfer et al. 2011). Hohe Wassertemperaturen bedeuten für viele Wasserlebewesen Stress. Kälteliebende Fische schränken ab gewissen Temperaturen ihr Fress- und Wanderverhalten ein. Eine weitere Erhöhung der Temperaturen – bei Forellen und Äschen ab 25 °C – bedeutet den Tod für diese Fische (BUWAL et al. 2004).

Die Erhöhung der Wassertemperatur führt zu weiteren Veränderungen der Wasserqualität, die sich wiederum negativ auf die Wasserlebewesen auswirken:

- Die Menge des im Wasser löslichen Sauerstoffs ist in warmem Wasser geringer als in kaltem Wasser (11 mg/l bei einer Wassertemperatur von 10 °C gegenüber 8 mg/l bei einer Temperatur von 25 °C). Manche im Wasser lebende Organismen sind jedoch auf einen bestimmten Minimalgehalt an Sauerstoff angewiesen, so etwa die Bachforellen (Truites & Rivières 2016).
- Hohe Temperaturen und eine starke Sonneneinstrahlung begünstigen die Erhöhung des Nährstoffgehalts (Eutrophierung) von stehenden und fliessenden Gewässern. Zudem reduzieren sie die vertikale Wasserzirkulation in Seen, was wiederum den Eutrophierungsprozess verstärkt (FS7). Die Eutrophierung begünstigt die Ausbreitung von bestimmten, schnell wachsenden und oftmals invasiven Arten, die ein nährstoffreiches Umfeld bevorzugen, auf Kosten anderer Arten. Sie kann die Ursache für Sauerstoffmangel (Anoxie) in den betroffenen Lebensräumen sein und für zahlreiche Arten tödliche Folgen haben (FS7). Eutrophe Bedingungen und hohe Wassertemperaturen fördern Algenblüten. Unter anderem können sich Cyanobakterien, die schädliche und mitunter gefährliche Toxine absondern können, entwickeln (FS7).
- Hohe Wassertemperaturen begünstigen die Vermehrung von Krankheitserregern wie zum Beispiel jenen, die bei den lachs- und forellenartigen Fischen (Salmoniden) die Proliferative Nierenkrankheit auslösen (vgl. Kapitel 10.1.1).

Neben temperaturbedingten Effekten können auch Trockenperioden oder Hochwasserereignisse die Wasserqualität beeinträchtigen:

- In Trockenperioden nehmen die Schadstoffkonzentrationen in stehenden und fliessenden Gewässern zu, weil bei geringen Wassermengen in den Vorflutern die eingeleiteten Abwässer weniger verdünnt werden (FS1, FS3). Dies stellt speziell für kleine Fließgewässer ein Risiko dar.
- Nach Überschwemmungen oder Starkniederschlägen können aufgrund von überlasteten Kanalisationsnetzen und Rückhaltebecken grosse Mengen von unge reinigten Abwässern in Gewässer und angrenzende Feuchtgebiete gelangen und zu einer Verschmutzung derselben führen. Ausserdem können solche Ereignisse zur Folge haben, dass Düngemittel und organisches Material aus den Böden ausgewaschen werden und sich in Gewässern anreichern (FS3, FS6, Hegg et al. 2004).

Die klimabedingte Beeinträchtigung der Wasserqualität hat auch für die Wassernutzung durch den Menschen Konsequenzen. Einerseits fallen die Kosten für die Trinkwasseraufbereitung bei einer geringeren Wasserqualität höher aus. Andererseits reduzieren hohe Wassertemperaturen die Eignung von Wasser zu Kühlzwecken und können so zu Einschränkungen bei der Energie- und Industrieproduktion führen (FS2). Auch die Ausübung bestimmter Freizeitaktivitäten wie Baden oder Angeln muss bei unzureichender Wasserqualität eingeschränkt werden (FS7).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Der Klimawandel ist eine von mehreren Ursachen für die Abnahme der Gewässerqualität. Seit der Industrialisierung wird die Wasserqualität hauptsächlich vom Menschen (Einleitung von Abwässern aus Haushalten und Industrie sowie Eintrag von Nährstoffen) beeinflusst. Dank den Bemühungen des Gewässerschutzes sind diese Belastungen heute weitgehend unter Kontrolle.

Der fortschreitende Klimawandel wird zu einer weiteren Erhöhung der Wassertemperaturen führen (BAFU 2012a). Auch Trockenperioden und Hochwasserereignisse könnten zunehmen. Dadurch kann sich die Wasserqualität langfristig verschlechtern und zusehends grössere Schäden bzw. Kosten verursachen.

Äschensterben 2003 im Rhein

Das Wasser des Rheins beim Bodensee erreichte im Hitzesommer 2003 extrem hohe Temperaturen. In der Mitte des Untersees wurde am 13. August eine Oberflächentemperatur von 26,4 °C gemessen. Diese starke Erwärmung des Wassers hatte katastrophale Folgen für die Aale und Äschen. Schätzungen gehen von rund 50 000 Fischen aus, die innerhalb weniger Tage auf der Strecke zwischen Untersee und Rheinfall verendeten.

(Quelle: BUWAL et al. 2004)

9.2 Beeinträchtigung der Bodenqualität

Der Boden ist unsere Existenzgrundlage. Er liefert über 95 Prozent unserer Nahrungsmittel und erfüllt weitere ökologische Funktionen, z. B. die Regulierung des Wasserhaushalts oder Filter-, Puffer- und Speicherfunktionen. Die Erhaltung seiner Qualität ist für die Aufrechterhaltung der verschiedenen Bodenfunktionen von grosser Wichtigkeit (Portal der Schweizer Regierung 2016).

Bestimmte meteorologische Ereignisse können die Bodenqualität stark beeinträchtigen. Je nach den örtlichen Gegebenheiten führen Starkniederschläge und Hochwasser zu Bodenerosion, zur Auswaschung von Nährstoffen und mitunter zum Verlust der obersten Bodenschicht (FS3). Stürme, Waldbrände und Trockenperioden setzen Böden der Erosion durch Wasser und Wind aus (FS3, Europäische Kommission 2011). Zudem verändern Trockenperioden die Bodenqualität, indem sie die Durchlässigkeit der Böden verringern.

Die Beeinträchtigung der Bodenqualität, inklusive der biologischen Vielfalt des Bodens, kann sich auf verschiedene Bodenfunktionen auswirken (Walter et al. 2015), zum Beispiel:

- die Produktionsfunktion (Nahrungsmittel-, Futtermittel- und Holzproduktion);
- die Regulierungsfunktion (Regulierung des Wasserkreislaufs sowie der biogeochemischen Stoffkreisläufe, CO₂-Speicherung, Ausüben von Filter-, Puffer- und Speicherfunktionen, Bodenbildung);
- die Lebensraumfunktion (Lebensgrundlage, Erhaltung der biologischen Vielfalt).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Die Bodenqualität könnte sich mit fortschreitendem Klimawandel verschlechtern. Um die vielfältigen Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Böden und ihre Funktionen besser zu verstehen, ist weitere Forschung notwendig (BAFU 2014a).

9.3 Beeinträchtigung der Luftqualität

Die Luftqualität ist für die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanzen von vorrangiger Bedeutung. Unter dem Einfluss bestimmter Wetterlagen kann sich die Luftqualität markant verschlechtern.

Die Luftqualität umfasst sowohl die chemische Zusammensetzung als auch physikalische Eigenschaften wie etwa die Temperatur. Sie wird hauptsächlich durch Feinstaub, Ozon und schädliche Stickstoffverbindungen beeinträchtigt. Diese Schadstoffe sind grösstenteils anthropogenen Ursprungs: motorisierter Verkehr, Verbrennung von Holz sowie landwirtschaftliche und industrielle Aktivitäten (BAFU 2015b).

Die folgenden klimatischen und meteorologischen Bedingungen führen zu einer Verschlechterung der Luftqualität (Adelphi/PRC/EURAC 2015, BAFU 2016b, Allergiezentrum Schweiz 2016, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016b):

- Stabile Hochdrucklagen begünstigen sowohl im Sommer als auch im Winter hohe Schadstoffkonzentrationen. Im Winter können insbesondere lang anhaltende Inversionslagen in windarmen Regionen zu einer erhöhten Feinstaubkonzentration durch die Abgase aus Heizungen und Motorfahrzeugen führen.
- Stabile Hochdrucklagen in Verbindung mit hohen Temperaturen begünstigen die Bildung von Ozon. Dies ist ein Sekundärschadstoff, der durch eine chemische Reaktion zwischen Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung in bodennahen Schichten entsteht.
- Hitze beeinträchtigt die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen (vgl. Kapitel 3.1).
- Höhere Mitteltemperaturen verlängern die Vegetationsperiode. Der Zeitraum, während dem die Luft durch

allergen wirkende Pflanzenpollen belastet ist, könnte dadurch verlängert werden (vgl. Kapitel 11.1).

Verminderte Luftqualität beeinträchtigt zum einen die Gesundheit von Mensch und Tier. Eine zu hohe Schadstoffbelastung der Atemluft kann zu Entzündungen der Atemwege, Atembeschwerden und in bestimmten Fällen zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen (BAFU 2014b; vgl. Kapitel 3.1). Zum anderen haben hohe Ozonkonzentrationen auch negative Auswirkungen auf das Wachstum der Pflanzen und können zu Ertragseinbussen in der Landwirtschaft führen (BAFU 2016b, BAFU 2015c).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

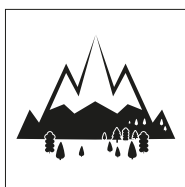
Durch den Klimawandel werden bestimmte Parameter verändert, die sich auf die Luftqualität auswirken. Die Ozonkonzentration ist von komplexen Wechselwirkungen zwischen den Emissionen ihrer Vorläufergase (Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen), den Witterungsbedingungen und der Landnutzung abhängig (DEFRA 2012c). Der Anstieg der Temperaturen wird nicht nur zu einer Verlängerung der Perioden mit hoher Ozonkonzentration führen, sondern auch die maximale Ozonkonzentration ansteigen lassen (EUA 2013). Zudem könnten stabile Hochdrucklagen, welche hohe Schadstoffkonzentrationen begünstigen, in Mitteleuropa künftig häufiger auftreten (BAFU 2014a). Demgegenüber dürften die winterlichen Episoden hoher Luftverschmutzung aufgrund des Temperaturanstiegs seltener und mit geringerer Intensität auftreten (Anderson et al. 2008).

Rekordhohe Ozonbelastung im Sommer 2015 in Genf

Bei starker Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen stiegen die Ozonkonzentrationen in Genf im Juli 2015 stark an. Die Ozonwerte überstiegen wiederholt den Schwellenwert von 180 µg/m³. In der Folge wurden Massnahmen zur Reduktion der für die Ozonbildung verantwortlichen Schadstoffemissionen getroffen. Zusätzlich wurden die Tarife im öffentlichen Verkehr gesenkt, um die Bevölkerung zum Verzicht auf Privatfahrzeuge zu bewegen.

(Quellen: Kanton Genf 2016, Kanton Genf 2015)

10 Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft



- Beeinträchtigung der Biodiversität
- Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume



Fischer und Aufseher retten Bachforellen aus der versiegenden Töss im Kanton Zürich (2011)

Foto: Heidy Dietiker

Die Biodiversität oder biologische Vielfalt umfasst die Vielfalt der Ökosysteme, die Artenvielfalt, die genetische Vielfalt sowie die Vielfalt der Interaktionen zwischen und innerhalb dieser Ebenen (Schweizerische Eidgenossenschaft 2015).

Seit 1900 hat die Biodiversität in der Schweiz stark gelitten und musste markante Verluste hinnehmen – insbe-

sondere in den letzten Jahrzehnten. Eine von 40 einheimischen Arten ist bereits ausgestorben, fast ein Drittel der Pflanzenarten und nahezu die Hälfte der Tierarten stehen auf der Roten Liste (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Zahlreiche Lebensräume wie Auen, Moore, Trockenwiesen und -weiden sind selten geworden, und die verbliebenen Lebensräume haben an ökologischer Qualität eingebüsst (BAFU 2012c). Der Schwund

der biologischen Vielfalt konnte in jüngster Zeit verlangsamt werden, z. B. durch den Erlass entsprechender Gesetze und die Einführung von Bundesinventaren (Schweizerische Eidgenossenschaft 2015).

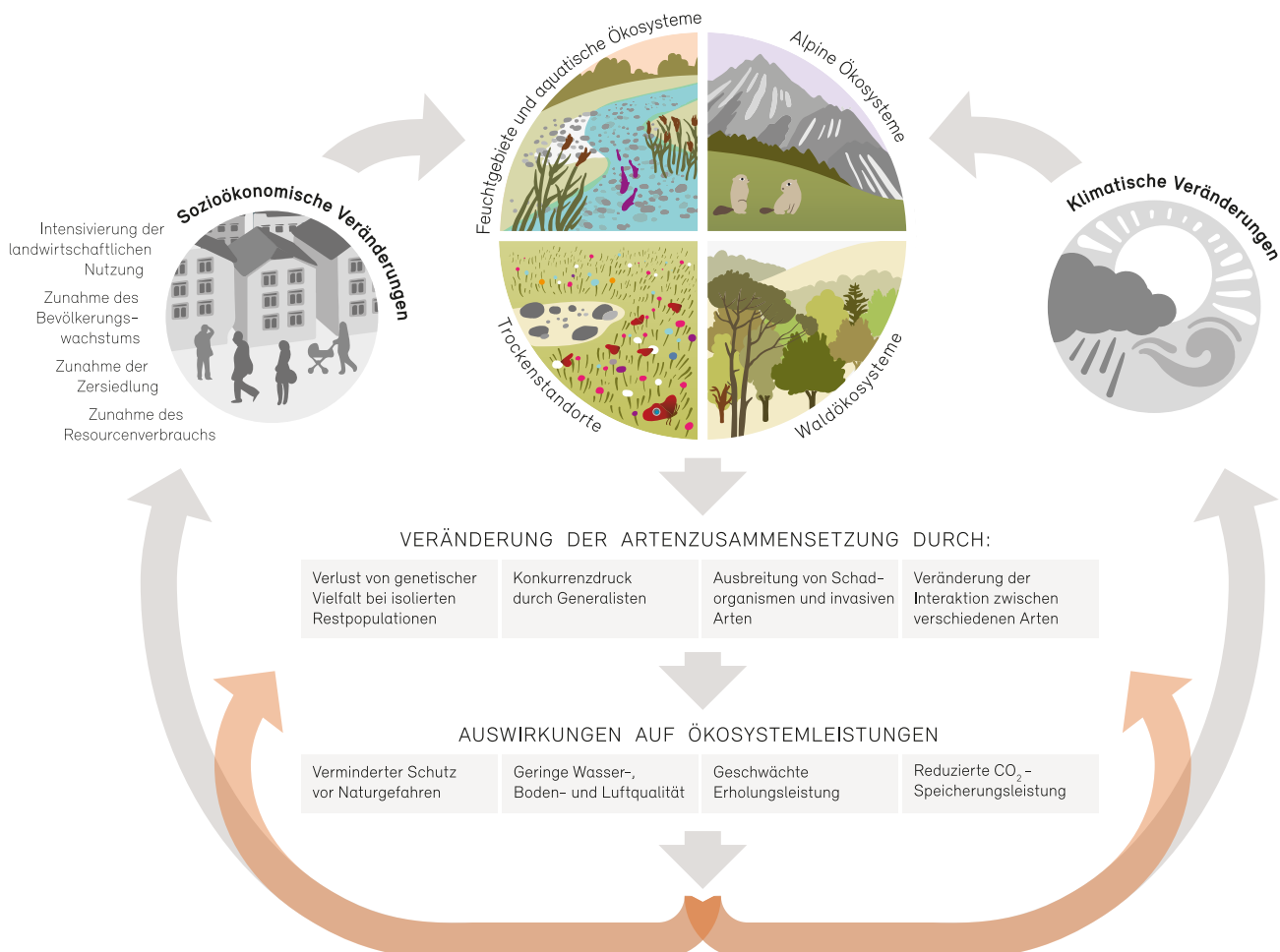
Mit ihrer abwechslungsreichen Topografie verfügt die Schweiz über eine Vielzahl von Kleinlebensräumen, die unterschiedliche Lebensbedingungen bieten. Entsprechend reichhaltig ist die Biodiversität, insbesondere in den Wäldern sowie in den Bergregionen, in denen sich der Grossteil der Moore, Auen, Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung befinden (FS5, Forum Biodiversität Schweiz 2013). Darüber hinaus beherbergt die Schweiz Arten und Lebensräume von internationaler Bedeutung: 43 Habitate und 105 Arten sind Bestand-

teil des Smaragdnetzwerks, welches die seltenen und bedrohten Arten und Lebensräume in Europa umfasst (BAFU 2015d).

Ökosysteme stellen Güter und Leistungen bereit, ohne die das menschliche Leben undenkbar wäre. Diese Ökosystemleistungen sind vielfältig und ganz unterschiedlicher Art: Bereitstellung von Nahrungsmitteln, Baumaterialien (z. B. Holz), medizinischen Wirkstoffen und Erholungsräumen, Bestäubung, Reinigung von Luft und Wasser, fruchtbare Böden, Schutz vor Naturgefahren wie Überschwemmungen, Rutschungen, Lawinen und Steinschläge sowie Minderung des Klimawandels durch CO₂-Speicherung (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, BAFU 2011).

Abbildung 42

Beeinflussung von Ökosystemen und Auswirkungen auf Artenzusammensetzung und Ökosystemleistungen



Dieses Kapitel legt den Schwerpunkt auf die Veränderungen der Lebensräume und ihrer Arten durch den Klimawandel. Einflüsse des Klimawandels auf Landschaften – beispielsweise der Rückzug der Gletscher und der Anstieg der Vegetationsgrenze – werden in anderen Kapiteln angesprochen.

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Der Klimawandel beeinflusst die Biodiversität in der Schweiz auf unterschiedliche Weise auf allen Ebenen der Diversität (Ökosysteme, Arten, Gene, Interaktionen zwischen und unter den Arten). Die steigenden Temperaturen und das veränderte Niederschlagsregime, Hitze- und Trockenperioden, die Beeinträchtigung der Wasser-, Luft- und Bodenqualität, die Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten führen zu einer Veränderung der Lebensräume, der Artenzusammensetzung sowie der Landschaft und damit zu einer Veränderung der Biodiversität. Da diese Parameter zusammen auf die Biodiversität einwirken und die einzelnen Auswirkungen nicht isoliert betrachtet werden können, werden sie in diesem Kapitel gesamthaft abgehandelt. Je nach den Lebensräumen, den Arten und den diesen zugeschriebenen Werten, kann der Klimawandel sowohl ein Risiko als auch eine Chance für die Biodiversität darstellen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität machen sich in der Regel nur langsam bemerkbar. Wenn ein bestimmter Toleranzwert überschritten wird, können sich manche Veränderungen aber auch schnell vollziehen (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2014). Man spricht in diesem Zusammenhang vom «Kipp-Punkt» (Tipping Point) der Ökosysteme.

Aufgrund von verschiedenen sozioökonomischen Faktoren wie etwa der zunehmenden Urbanisierung und Zersiedelung, der intensiveren landwirtschaftlichen Nutzung, dem steigenden Ressourcenverbrauch oder des Bevölkerungswachstums steht die Biodiversität stark unter Druck. Diese Aspekte werden in Kapitel 10.2.4 thematisiert.

Abbildung 42 präsentiert die wichtigsten Prozesse, die auf verschiedene Ökosysteme einwirken, sowie damit verbundene Folgen. Die Abbildung berücksichtigt nicht

alle Faktoren, die auf die Biodiversität in der Schweiz einwirken, sondern beschränkt sich auf einige der wichtigsten Faktoren.

10.1 Veränderungen in ausgewählten Ökosystemen

10.1.1 Feuchtgebiete und aquatische Ökosysteme

Die Feuchtgebiete und die aquatischen Ökosysteme umfassen Fließgewässer und stehende Gewässer, Teiche und Weiher, Hoch- und Flachmoore sowie Auen. Sie leisten wichtige Beiträge an Ökosystemleistungen wie z. B. den Hochwasserschutz, die Erneuerung der Grundwasserreserven oder die Reinigung des Wassers (Ramsar-Konvention 2011).

Die Zahl der Feuchtgebiete und aquatischen Ökosysteme nimmt stetig ab: Zwischen 1900 und 2010 hat die Fläche der Auen um 36 Prozent abgenommen, jene der Moore gar um 82 Prozent. Viele kleinere Wasserläufe und stehende Gewässer sind infolge von Kanalisierung oder Entwässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen komplett verschwunden (Schweizerische Eidgenossenschaft 2015). Die Feuchtgebiete und die aquatischen Ökosysteme sind auch vom Klimawandel direkt betroffen (vgl. Kapitel 9.1).

Temperatur und Wasserqualität: Höhere Lufttemperaturen bewirken eine Erwärmung der Gewässer. Das Absinken des Wasserpegels in stehenden und fließenden Gewässern während Trockenperioden kann Qualitätseinbussen und eine zusätzliche Erwärmung zur Folge haben (FS1, FS3, FS5–FS7). Hohe Wassertemperaturen führen zu Hitzestress bei temperaturempfindlichen Arten wie z. B. Fischen. Unter solchen Bedingungen breiten sich auch Krankheiten rascher aus, z. B. die Proliferative Nierenkrankheit, die lachs- und forellenartige Fische (Salmoniden) befällt (siehe Kasten «Ausbreitung der Proliferativen Nierenkrankheit»).

Die Wasserqualität wird auch durch häufiger auftretende Starkniederschläge, Hochwasser und Überschwemmungen beeinträchtigt. Diese führen dazu, dass Pestizide oder Nährstoffe aus dem Boden ausgewaschen und die betroffenen Lebensräume verschmutzt werden.

Ausbreitung der proliferativen Nierenkrankheit

Die Krankheitserreger, die die proliferative Nierenkrankheit bei den Salmoniden übertragen, sind in hohem Masse von der Wassertemperatur abhängig (Temperaturen über 15 °C während 2–3 Wochen). Die Zunahme von Perioden anhaltend hoher Temperaturen stellt somit eine Bedrohung für die Süßwasserfische dar.

(Quellen: BLV 2016, Rubin et al. 2015)

Eutrophierung: Der Anstieg der Temperaturen führt zu einer geringeren Durchmischung des Wassers in den Seen, was die Eutrophierung begünstigen kann (FS7). Bestimmte Cyanobakterien-Arten, die für nährstoffreiche Lebensräume typisch sind, können Toxine freisetzen, die für die Fauna wie auch für den Menschen schädlich sind (Eawag 2016). Bei bestimmten Fischarten können sie zum Tod führen.

Austrocknung: Feuchtgebiete (Hochmoore, Flachmoore und Moorlandschaften) und die darin ansässigen Arten können infolge lang anhaltender Trockenperioden beeinträchtigt werden oder komplett verschwinden (FS1, FS3, FS5–FS7). Da in den organischen Böden dieser Lebensräume CO₂ gespeichert ist, hat deren Austrocknen zudem die Freisetzung grosser Mengen von CO₂ in die Atmosphäre zur Folge (FS8).

10.1.2 Xerophile und thermophile Standorte

Wie die Feuchtgebiete sind auch die xerophilen (trockenheitsliebenden) und thermophilen (wärmeliebenden) Standorte artenreiche Lebensräume. Sie umfassen Trockenwiesen und -weiden sowie gewisse urbane Lebensräume (Mikrohabitate mit trockenen Bedingungen wie Bahnareale, Trockenmauern, Industriebrachen usw.) und werden von Arten besiedelt, die besonders gut an trockene Bedingungen angepasst sind, wie zum Beispiel die Tagfalter.

Trockene Lebensräume haben seit Anfang des letzten Jahrhunderts einen markanten Flächenverlust erlitten, der auf verschiedene Faktoren wie die Urbanisierung, die Nutzungsintensivierung und die Aufgabe der Bewirtschaftung zurückzuführen ist (Schweizerische Eidgenossenschaft

2015). Seit 1900 sind in der Schweiz 95 Prozent der Trockenwiesen und -weiden verschwunden (BAFU 2015e).

Der Klimawandel stellt für diese Lebensräume eine Chance dar. Ihre Fläche könnte aufgrund der häufiger auftretenden Trockenperioden in allen Regionen wieder zunehmen. Auch die wärmeliebenden Arten werden durch die sich ändernden klimatischen Bedingungen begünstigt, da sich ihre Überlebenschancen mit dem Anstieg der Mitteltemperaturen (FS1, FS3) und/oder der winterlichen Temperaturen verbessern. Gleichzeitig ermöglichen die milderen Temperaturen bei bestimmten Insektenarten eine beschleunigte Reproduktion, was zu einem Anstieg der Anzahl Generationen pro Jahr führen kann (FS1, FS3).

10.1.3 Alpine Lebensräume

Die Alpen spielen für die Erhaltung der Biodiversität in der Schweiz eine wichtige Rolle, da sie zahlreiche spezialisierte Lebensräume und Arten beherbergen. Da fast zwei Drittel der Landesfläche auf den Alpenraum entfallen und ein Drittel über der Waldobergrenze liegt, hat die Schweiz eine besondere Verantwortung in Bezug auf die Erhaltung der für diesen geografischen Raum typischen Lebensräume und Arten (Schweizerische Eidgenossenschaft 2015).

Veränderungen bei der Landnutzung betreffen auch die alpinen Lebensräume (z. B. Beweidung hoher Lagen durch Schafe) und beeinflussen den Zustand der Biodiversität in diesen Regionen. Viele der leichter zugänglichen Höhenlagen werden mittlerweile landwirtschaftlich intensiv genutzt, während die schwerer zugänglichen Flächen nicht mehr bewirtschaftet werden, sodass sich der Wald in diesen Gebieten ausbreiten kann (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Die Abnahme der Dauer der Schneebedeckung sowie deren Dicke können für bestimmte Arten weitreichende Folgen haben (FS5). Die Rolle der Schneedecke kann bestimmte Arten begünstigen und andere Arten benachteiligen. So bietet die Schneedecke beispielsweise dem Schneehasen Schutz, da er sich in schneebedeckten Umgebungen perfekt tarnen kann, während sie für den Hirsch, der auf seinen Wanderungen im Schnee viel Energie verliert, eine Belastung darstellt. Bestimmte Bäume brechen unter der Schneelast zusammen, während die Schneedecke anderen Pflanzen Schutz vor der Kälte bietet (FS5).

Verschiebung bestehender und Schaffung neuer Lebensräume

Der Anstieg der Mitteltemperaturen, die Verlängerung der Vegetationsperiode und die Abnahme der Zahl der Frosttage führen zu einer Verlagerung der Lebensräume und der Arten in höher gelegene Regionen. Diese Entwicklung geht mit einer Verkleinerung der Lebensräume, dem Verlust mancher Habitate (FS1, FS3, FS5, FS7) sowie deren Isolierung einher. Das Fehlen von Verbindungen zwischen isolierten Lebensräumen und die geringe Zahl der darin lebenden Individuen führen zu einem Rückgang der genetischen Vielfalt. Zudem treten neu eingewanderte Arten in hohen Lagen in Konkurrenz zu den für den alpinen Raum typischen, oft hochspezialisierten Arten (FS5, FS8).

Auch die glazialen Lebensräume sind Bestandteil der alpinen Biodiversität. Mit dem Abschmelzen der Gletscher verschwinden bestimmte, an diese Habitate angepasste Arten, während auf den vom Gletschereis befreiten Flächen neue Lebensräume entstehen. Diese Lebensräume werden rasch von Pionierarten besiedelt. Die Biodiversität verändert sich daher mit dem Verschwinden der glazialen Lebensräume, und dies sowohl im positiven wie auch im negativen Sinne – je nach den betrachteten Arten (FS5).

Verkleinerung des Verbreitungsgebiets des Auerhuhns

Das Auerhuhn ist eine Vogelart, die typischerweise in Wäldern mit einer üppigen bodennahen Vegetation und zahlreichen kleinen Büschen verbreitet ist. Das Auerhuhn ist auf der Roten Liste der Brutvögel als stark gefährdete Art eingestuft. Es ist im Jura sowie in den Voralpen und Alpen heimisch. Bis 2050 dürfte sein Verbreitungsgebiet (in der Schweiz und im Schwarzwald) infolge klimatischer Veränderungen um 41 Prozent abnehmen (Pluess et al. 2016). Im Jura kommt das Auerhuhn bereits heute nur noch in Höhenlagen vor, die die Obergrenze ihres natürlichen Verbreitungsgebiets definieren; die Gefahr des Aussterbens der Art durch den Verlust ihres Lebensraums ist in dieser Region real (FS6).

10.1.4 Lebensraum Wald

Die Wälder bedecken fast einen Drittel der Landesfläche der Schweiz. Manche Waldflächen dienen der Nutzholzproduktion, andere werden zum Schutz vor Naturgefahren bewirtschaftet. Die Wälder spielen zudem eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Biodiversität in der Schweiz, da fast die Hälfte der in der Schweiz verbreiteten Tier- und Pflanzenarten im Wald heimisch sind (BAFU 2015c).

Die Waldfläche hat in der Schweiz – vor allem in den Voralpen, den Alpen und auf der Alpensüdseite – in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen: +3,4 Prozent zwischen 1986 und 1995, +4,6 Prozent zwischen 1996 und 2006 und +2,3 Prozent zwischen 2007 und 2013 (BAFU 2015f). Die Nutzungsaufgabe von Maiensässen und Alpweiden spielt eine wichtige Rolle für die Waldflächenentwicklung. Gleichzeitig wird sich die Waldobergrenze mit dem Anstieg der Durchschnittstemperaturen in höhere Lagen verschieben (FS5, FS7; siehe Kasten Waldgrenze).

Der Wald erbringt zahlreiche Ökosystemleistungen, die durch die Veränderung der Waldökosysteme ebenfalls beeinträchtigt werden. Schon heute leiden Bäume unter den Folgen des Klimawandels: Im Tessin reagieren die Wälder in tiefen Lagen (<500m), die auf flachgründigen Böden an Ost- oder Westhängen stehen, besonders empfindlich auf Trockenperioden. Edelkastanienbäume zählen zu den für diese Regionen typischen Arten. Sie haben 2003 und 2015 besonders stark gelitten. Demgegenüber haben einige der neuen, trockenheitsresistenten Arten wie etwa der Götterbaum und die Robinie diese trockenen Sommer sehr gut überstanden. Die Wiederholung solcher Trockenperioden dürfte diese Arten fördern, insbesondere auf der kollinen Stufe (FS7, Lévesque et al. 2015).

Die Veränderungen im Nutzungspotenzial des Rohstoffs Holz, speziell von Fichtenholz, könnten im Jura und im Mittelland zu Ertragsrückgängen führen, während in den alpinen Regionen langfristig eine Zunahme zu erwarten ist (Bircher et al. 2015). In hohen Lagen wird die Schutzwirkung des Waldes durch den Anstieg der Waldobergrenze verstärkt, während sie in den von Trockenperioden betroffenen Waldgebieten beeinträchtigt wird (Pluess et al. 2016). In bestimmten Regionen dürfte sich

die CO₂-Speicherleistung, die wesentlich vom Holzvorrat und -zuwachs abhängt, durch die zu erwartende Verlängerung der Vegetationsperiode leicht erhöhen (FS4).

Anpassung an den Klimawandel

Die Veränderung der Mitteltemperaturen und des Niederschlagsregimes wird zu einer allmählichen Veränderung der Artenzusammensetzung in Wäldern führen. Dies wird in den nicht bewirtschafteten Waldgebieten langsamer, hingegen in bewirtschafteten Wäldern schneller vor sich gehen. Durch die Bewirtschaftung können gezielt Arten gefördert werden, die über eine grosse Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel verfügen (FS3, FS4, FS6).

Die Anpassungsfähigkeit der Wälder gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels hängt auch von der Baumartenzusammensetzung ab. Je höher der Anteil der Fichten, desto stärker ist der Bestand gefährdet (Bircher et al. 2015). Die flach wurzelnden Fichten sind auf genügend Niederschläge respektive Böden mit hohem Wasserspeichervermögen angewiesen (BAFU 2014c). Generell wird sich das Verbreitungsgebiet von Arten, die heute auf der montanen und subalpinen Stufe verbreitet und an ein feucht-kühles Klima angepasst sind, teilweise verkleinern, weil die verfügbare Fläche mit zunehmender Höhe immer stärker begrenzt ist. Demgegenüber könnte sich das Verbreitungsgebiet von Arten, die auf der kollinen und submontanen Stufe heimisch sind und trockenere Bedingungen gut vertragen, künftig vergrössern (Pluess et al. 2016).

Anstieg der oberen Waldgrenze

Die natürliche Waldgrenze wird sich aufgrund des Klimawandels weiter nach oben verschieben. Im Kanton Graubünden wird erwartet, dass sie bis zum Jahr 2060 auf die Höhe des Weissfluhjochs (2690 m) ansteigt. Heute liegt sie bei rund 1900 m ü. M. (FS5).

10.2 Veränderungen, die alle Ökosysteme betreffen

10.2.1 Invasive, gebietsfremde Arten¹⁷

Die Ausbreitung von invasiven, gebietsfremden Arten stellt schon heute eine Bedrohung für die Biodiversität dar. Weltweit gelten die invasiven, gebietsfremden Arten als zweitwichtigste Ursache für Biodiversitätsverluste nach dem Verschwinden und der Beeinträchtigung der Lebensräume (Shine et al. 2009).

Gebietsfremde Arten werden in der Regel über grosse Binnen- und Hochseehäfen, entlang von Autobahnen und Bahnlinien sowie an Flughäfen eingeschleppt. Der Klimawandel ist für die Einwanderung dieser Arten in die Schweiz somit nicht direkt verantwortlich, schafft aber Bedingungen, die deren Ansiedlung und Ausbreitung begünstigen. Manche der eingeschleppten Arten sind besser an die örtlichen klimatischen Bedingungen angepasst als die einheimischen Arten (FS6, EUA 2017). Die sich ändernden klimatischen Bedingungen können auch die Ausbreitung einheimischer Schadorganismen begünstigen und so andere Arten im gleichen Lebensraum gefährden (vgl. Kapitel 11).

In der Schweiz zählt man heute bereits rund 800 nicht-heimische Arten, von denen 107 als invasiv oder potenziell gefährlich eingestuft werden. Es handelt sich um Säugetiere, Vögel, ein Reptil, Amphibien, Fische, Weichtiere, Insekten, Krebstiere, Spinnen, Würmer, Pilze, ein Bakterium und verschiedene Pflanzen (BAFU 2006).

Bei über 40 Prozent der etablierten und invasiven, gebietsfremden Pflanzenarten handelt es sich um Arten, die im Wald oder in Feuchtgebieten gedeihen. Diese Lebensräume sind daher durch die Einwanderung solcher Organismen besonders bedroht. Demgegenüber sind die Lebensräume im Berggebiet und im Weideland bisher weniger stark betroffen, da sich nur wenige gebietsfremde Arten in diesen Lebensräumen etabliert haben (BAFU 2006).

Die Ausbreitung von heute erst punktuell vorhandenen invasiven, gebietsfremden Arten wird mit dem Klimawandel zunehmen. Zudem ist es denkbar, dass die Biodiversität

¹⁷ Zu Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten siehe auch Kapitel 11

in der Schweiz durch die Einwanderung neuer invasiver, gebietsfremder Arten bedroht wird. Die Auswirkungen und die möglichen Schäden solcher Prozesse lassen sich nicht abschätzen, könnten im Extremfall aber zum Kollaps von Ökosystemen führen (vgl. Kapitel 13).

10.2.2 Extremereignisse

Naturereignisse, insbesondere wenn sie in Form von Extremereignissen auftreten (z. B. Jahrhundertstürme oder -hochwasser, Grossbrände) stellen oft eine Chance für die biologische Vielfalt dar. Zwar können durch sie bestimmte, auf besondere Bedingungen angewiesene Arten verschwinden, gleichzeitig entstehen aber nach solchen Ereignissen wertvolle neue Lebens- und Pionierräume (Vittoz et al. 2013). Pionierarten, Arten, die lichte Lebensräume bevorzugen, sowie Arten, die an Störungen angepasst sind, besiedeln die betroffenen Gebiete und bereichern damit die lokale Biodiversität (FS5, FS8). Zudem tragen Natur- und Extremereignisse zur Erhaltung der Dynamik der Ökosysteme bei (FS8).

10.2.3 Interaktionen zwischen den Arten

Indem die klimatischen Veränderungen einzelne Arten beeinflussen, verändern sie auch deren Rolle in der Nahrungskette oder in anderen Formen der Interaktion zwischen den Arten (EUA 2012a, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Dies ist speziell bei Arten der Fall, die in einer besonderen Wechselbeziehung zueinander stehen, wie etwa Beute–Räuber, Blüte–Bestäuber, Parasit–Wirt oder Pflanzenfresser–Pflanze. Die Veränderung der Entwicklungsstadien kann bestimmte Interaktionen zwischen Arten unterbrechen, z. B. wenn die Aktivität der Bestäuber nicht mehr mit der Blütezeit zusammenfällt (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Der Klimawandel kann auch neue Interaktionen zwischen Arten auslösen, die bis dahin nicht stattfanden (EUA 2012a).

Es ist daher schwierig, genau vorherzusagen, welche Arten bedroht sind und welche Arten durch die vom Klimawandel verursachten Veränderungen begünstigt werden. Auch besteht nach wie vor grosse Unsicherheit in Bezug auf die Frage, wie die verschiedenen Lebensräume und Arten im Einzelnen auf den Klimawandel reagieren werden.

10.2.4 Summarische Bewertung

Wie eingangs dieses Kapitels erwähnt, steht die Biodiversität in der Schweiz – unabhängig vom Klimawandel – durch zahlreiche weitere, anthropogene Einflüsse stark unter Druck. Zu diesen Einflussfaktoren zählen die Ausdehnung des Siedlungsraums und der Verkehrsinfrastrukturen, die intensive Landwirtschaft und Schädlingsbekämpfung, die Zunahme von Tourismus- und Freizeitaktivitäten, die Erschliessung erneuerbarer Energien, die Einschleppung invasiver gebietsfremder Arten sowie die generelle Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität (FS3, Schweizerische Eidgenossenschaft 2012).

Biodiversitätsverluste haben oft einen irreversiblen Charakter, was ihre Tragweite erhöht (Schweizerische Eidgenossenschaft 2015). Die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführende Aussterberate ist hundert- bis tausendmal höher als die natürliche Aussterberate (Bergamin 2011).

Weitere Belastungen könnten sich ergeben, wenn bei der Umsetzung von klimapolitisch motivierten Migrations- oder Anpassungsmassnahmen möglichen negativen Auswirkungen auf die Biodiversität nicht Rechnung getragen wird. Diese Gefahr besteht z. B. beim Bau von Hochwasserschutzanlagen, bei der Anpassung des Tourismusangebots oder bei der Bekämpfung von Schadorganismen in der Landwirtschaft und im Wald.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität sowie die zusätzlichen, menschenverursachten Auswirkungen führen dazu, dass die Beeinträchtigung der Biodiversität, aber auch positive Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Lebensräume in der ganzen Schweiz eine prioritäre Bedeutung haben (Abb. 43).

Abbildung 43

Grossräume, in welchen das Risiko «Beeinträchtigung der Biodiversität» und die Chance «Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume» prioritär ist



10.2.5 Anpassung und Anpassungsfähigkeit

Die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität hängt von ihrer natürlichen Anpassungsfähigkeit sowie von der Fähigkeit des Menschen ab, Massnahmen zu ergreifen, die der Biodiversität den nötigen Spielraum für ihre Anpassung zugestehen. Zu Letzteren gehören zum Beispiel Massnahmen zum Schutz der Ökosysteme.

Arten haben die (begrenzte) Fähigkeit, mit Änderungen in ihrer Umgebung zurechtzukommen. Man unterscheidet drei verschiedene Formen der Anpassung. Falls einer Art keine der unten genannten Möglichkeiten zur Verfügung steht, ist ihr Fortbestand gefährdet (Horst et al. 2013).

- 1. Anpassung des Phänotyps:** Unter Phänotyp versteht man die Gesamtheit der zu beobachtenden Merkmale einer Art, wie etwa ihr Aussehen oder die physiologischen Reaktionen innerhalb eines Organismus oder zwischen verschiedenen Organismen. Eine Art kann sich beispielsweise anpassen, indem sie ihr Wachstum beschleunigt, was zu einer frühzeitigen Blüte oder zu einem früheren Ausschwärmen bestimmter Insekten führen kann oder indem sie ihre Hitzetoleranz erhöht (Fischer et al. 2010).
- 2. Evolutionäre (genetische) Anpassung:** Arten können sich über Generationen an sich langsam verändernde Bedingungen genetisch anpassen. Wenn die genetische Vielfalt einer Art vermindert ist, wird auch ihre

Anpassungsfähigkeit reduziert – mit der Folge, dass das Aussterberisiko steigt (Pauli et al. 2001).

- 3. Wanderung in neue Gebiete (Arealverschiebung):** Arten, die sich fortbewegen können und damit die Möglichkeit haben, einen neuen, an ihre Bedürfnisse angepassten Lebensraum zu suchen, können sich leichter an neue Bedingungen anpassen als sesshafte Arten, es sei denn, ihr Lebensraum verschwindet ganz (FS1).

Generalisten verfügen in der Regel über eine hohe Anpassungsfähigkeit (FS7). Demgegenüber können sich spezialisierte Arten, die besondere klimatische Bedingungen bevorzugen und eine relativ geringe Toleranz haben, nicht (oder nur schwer) an sich ändernde klimatische Bedingungen anpassen. Zudem werden sie durch die Ausbreitung der Generalisten bedroht.

Anpassungsmassnahmen

Mögliche Massnahmen, die die Anpassung an den Klimawandel unterstützen, sind: Einrichtung von Biodiversitäts-Schutzgebieten, Vernetzung der Biotope durch biologische Korridore, Massnahmen zur Förderung der Biodiversität (z.B. im Landwirtschaftssektor oder bei Privatpersonen) oder Massnahmen zur Erhaltung der Lebensräume von bedrohten Arten.

Die Biodiversität hat zahlreiche Schnittstellen mit anderen Sektoren (Jörin et al. 2016). Wichtig sind deshalb die verstärkte Integration langfristiger Biodiversitätsziele in andere Strategien und Gesetze sowie eine kohärente, sektorübergreifende Zusammenarbeit (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012).

11 Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten



- Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit
- Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren
- Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- Beeinträchtigung von Waldleistungen



Von Laubholzbockkäfer befallenes Ahornholz

Foto: Reto Martin

Schadorganismen, Krankheitserreger und -überträger können eine negative Wirkung auf die Gesundheit von Mensch und Tier, die Pflanzen und generell die Ökosysteme und ihre Leistungen haben (BAFU 2012b). Oft wird zwischen einheimischen und gebietsfremden Arten unterschieden.

Gebietsfremde Arten sind Spezies, die ausserhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets bewusst oder verse-

hentlich eingeführt werden (BAFU 2006). Die Verbreitung von gebietsfremden Arten kann die Artenvielfalt eines Ökosystems erhöhen und auch dem Menschen Nutzen bringen (z. B. Einführung der Kartoffel aus Südamerika). Gebietsfremde Arten können jedoch ein invasives Verhalten entwickeln, da sie in der neuen Umgebung oft keine natürlichen Feinde haben und so einen Konkurrenzvorteil erlangen, was die einheimischen Lebensräume, Arten,

Ökosysteme (vgl. Kapitel 10.2.1) und deren Leistungen gefährdet (BAFU 2006).

Als Schadorganismen werden Pflanzen, Tiere und Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Pilze usw.) bezeichnet, die anderen Pflanzen Schaden zufügen. Krankheitserreger sind Organismen, die beim Menschen, bei den Tieren oder den Pflanzen zu Erkrankungen führen können (EFBS 2013). Krankheitsüberträger (Vektoren) verursachen selber keine Krankheiten, sind aber für gewisse Erreger von Infektionskrankheiten notwendig, um Organismen befallen zu können.

Die Verbreitung von Arten wird durch klimatische Faktoren wie Lufttemperatur, Niederschlagsmengen und Luftfeuchtigkeit beeinflusst. Die Körpertemperatur von Schädlingen und Vektoren, die ihre Körpertemperatur nicht selber regulieren können, hängt von der Umgebungstemperatur ab. Die klimatischen Bedingungen haben deshalb einen starken Einfluss auf die Vermehrung und Ausbreitung solcher sogenannter ektothermer Organismen.

Die Ausbreitung von Schadorganismen, Vektoren und gebietsfremden Arten ist bereits seit längerer Zeit zu beobachten. Ihre Einfuhr hat zum Teil bereits vor mehreren Hundert Jahren stattgefunden (FS5, FS7; siehe Tabelle 2). Diese Entwicklung ist hauptsächlich auf den Handel, die fortschreitende Globalisierung und das veränderte Reiseverhalten der Bevölkerung zurückzuführen. Der Klimawandel hat bisher noch kaum eine Rolle gespielt (FS4 – FS8, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a.).

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Die aufgrund des Klimawandels steigenden Temperaturen, milderen Winter, längere Vegetationsperiode und zunehmende Sommertrockenheit führen zu günstigeren Umweltbedingungen für viele einheimische und gebietsfremde Schadorganismen und Vektoren (FS2 – FS6, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Es werden sich in Zukunft auch Organismen ansiedeln und verbreiten können, die bisher in der Schweiz nicht überlebensfähig waren (FS6, BAFU 2012b, EUA 2017). Da sie oftmals besser an höhere Temperaturen angepasst sind, besitzen sie einen Konkurrenzvorteil gegenüber einheimischen Arten.

Tabelle 2

Gebietsfremde, invasive Arten, die sich in der Schweiz ausgebreitet haben

Art/Schadorganismus	Zeitpunkt der Einfuhr in die Schweiz	Hauptsächlich betroffener Sektor (nebst Biodiversität)
Götterbaum	1740 in Europa	Waldwirtschaft
Japanischer Staudenknöterich	1823 in Europa	Verkehrsinfrastruktur
Beifussblättriges Traubenkraut	1865	Gesundheit
Riesen-Bärenklau	1884	Gesundheit
Kartoffelkäfer	1937	Landwirtschaft
Varroamilbe	1984	Landwirtschaft
Amerikanische Walnussfruchtfliege	1991	Landwirtschaft
Asiatische Tigermücke	2003	Gesundheit
Asiatischer Marienkäfer	2004	Landwirtschaft
Asiatische Buschmücke	2007	Gesundheit
Buchsbaumzünsler	2007	Waldwirtschaft
Edelkastaniengallwespe	2009	Waldwirtschaft
Kirschessigfliege	2011	Landwirtschaft
Asiatischer Laubholzbockkäfer	2011	Waldwirtschaft

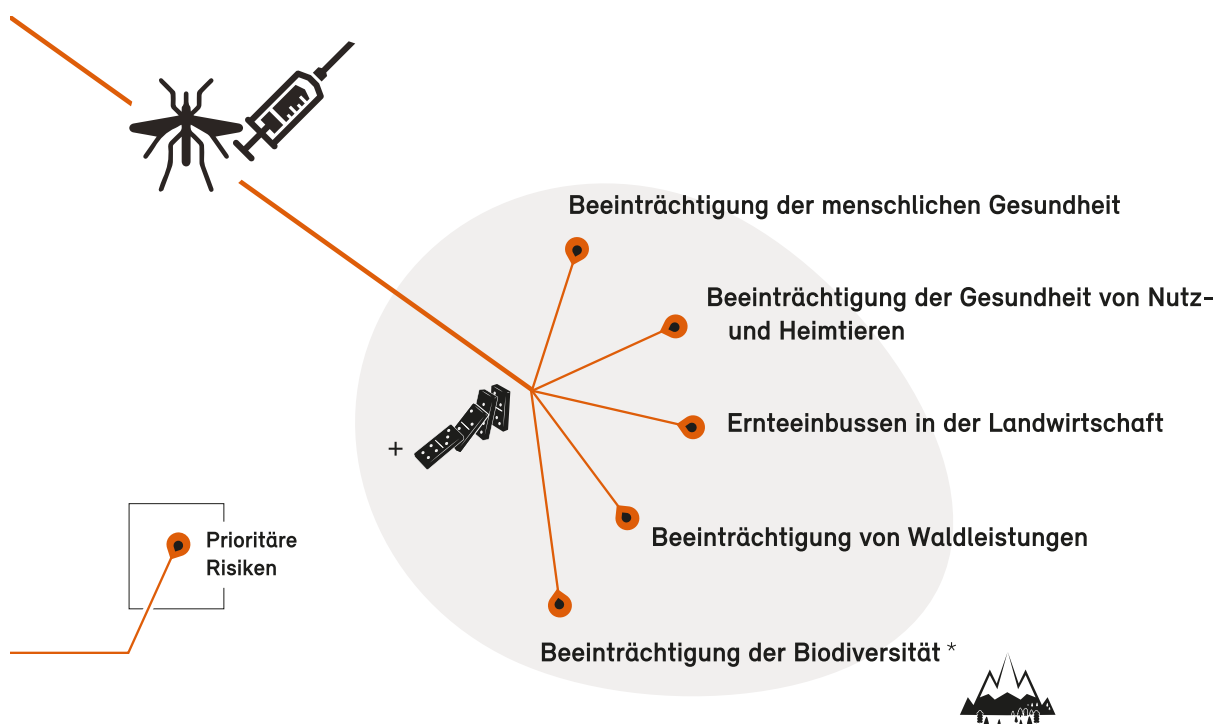
(Quellen: Pro Natura 2013, BAFU 2006)

Es ist schwierig, den Einfluss des Klimawandels auf die Verbreitung gebietsfremder Arten zu bestimmen, weil diese nicht nur von klimatischen, sondern auch stark von sozioökonomischen Bedingungen beeinflusst wird. Wenn der Trend zur Globalisierung in Zukunft anhält, werden sich invasive, gebietsfremde Arten weiterhin zuerst entlang von Verkehrsachsen und via grosser Güterumschlagplätze (Flughäfen, Rheinhafen etc.) ausbreiten. Die Fallstudien haben die besondere Betroffenheit von Städten wie Basel und Genf sowie des Süd-Nord-Verkehrskorridors im Tessin bestätigt (FS2, FS4, FS7).

Das Einschleppen neuer, gebietsfremder Arten und Krankheiten kann den Charakter einer Wildcard annehmen (vgl. Kapitel 13). Es ist schwierig abzuschätzen, welche Organismen in Zukunft in die Schweiz eingeschleppt werden und welchen Schaden sie anrichten könnten. Die Erfahrung mit bisher aufgetretenen, invasiven Arten zeigt, dass das Schadenpotenzial erheblich ist. Abbildung 44 zeigt die prioritären Risiken aufgrund der Herausforderung «Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten».

Abbildung 44

Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten: Übersicht über die prioritären Risiken



* Unter anderer Herausforderung diskutiert

11.1 Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

Der Klimawandel beeinflusst die Verbreitung von Krankheitsüberträgern, Krankheitserregern und allergenen Pflanzen, was negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann (Smith et al. 2014). Infektionskrankheiten, die durch Lebensmittel, Wasser und Vektoren übertragen werden, könnten so häufiger werden. Die wichtigsten Vektoren von Infektionskrankheiten in der Schweiz sind Mücken und Zecken (FS4, FS7).

11.1.1 Infektionskrankheiten und ihre Überträger

Stechmücken: Die Asiatische Tigermücke und die Asiatische Buschmücke (beide Gattung *Aedes*) haben sich in den 2000er-Jahren in der Schweiz angesiedelt (siehe Tabelle 2). Im Gegensatz zur Asiatischen Buschmücke, die auf der Alpennordseite weit verbreitet ist, kommt die Asiatische Tigermücke hauptsächlich in der Südschweiz vor. Sie kann Dengue-, Chikungunya- und Zika-Viren übertragen (FS2 – FS7). Es könnte sein, dass auch die Asiatische Buschmücke die Fähigkeit besitzt, diese Erreger zu über-

tragen (BAFU 2012b). Bisher konnten aber keine Übertragungen im Feld nachgewiesen werden. Für ihre Entwicklung benötigt die Asiatische Tigermücke milde Wintertemperaturen und durchschnittliche Jahrestemperaturen über einem gewissen Schwellenwert¹⁸. Zudem braucht sie zur Eiablage kleine, stehende Gewässer.

Verschiedene Sandmückenarten können die parasitäre Krankheit Leishmaniose übertragen. Überträger kommen in der Schweiz bereits vor, jedoch nicht der Erreger. Im Mittelmeerraum hingegen sind beide weit verbreitet.

Zecken: Der Gemeine Holzbock ist eine in der Schweiz häufig anzutreffende Zeckenart (FS3). Sie kann die bakterielle Krankheit Lyme-Borreliose und die virale Krankheit Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen (OcCC/ProClim 2007). Nicht jede Zecke ist Trägerin eines Krankheitserregers: Ungefähr jede dritte Zecke ist mit Borreliose infiziert, während der Virus der FSME 500-mal seltener vorkommt (zecken.ch 2017). Die Verbreitung der Zecke ist temperaturbestimmt. Auch bestehen grosse regionale Unterschiede in der Verbreitung der Krankheitserreger.

Trotz des hohen Hygienestandards kommen in der Schweiz auch via Lebensmittel übertragene Infektionskrankheiten vor (OcCC/SCNAT 2005). Krankheitsausbrüche mit nachgewiesenem bakteriellem Erreger haben aber im Zeitraum 1988–2011 deutlich abgenommen (BAG 2012).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Der Klimawandel begünstigt die Überlebensbedingungen der Asiatischen Tigermücke und somit ihre Verbreitung nördlich der Alpen (FS7, EUA 2017). Ob die Ägyptische Tigermücke – primäre Überträgerin des Dengue-, Chikungunya-, Zika- und Gelbfiebervirus – sich in Zukunft in der Schweiz ansiedeln kann, ist noch unklar (ECDC 2012). In Zukunft ist auch, speziell in der Südschweiz, die weitere Verbreitung der Sandmücke bzw. des Erregers der Leishmaniose möglich (BAG & BAFU 2007). Auch die Mücken der Gattung *Anopheles*, welche Malaria übertragen, könnten von einem Temperaturanstieg profitieren und vermehrt in der Schweiz auftreten (FS5).

Zur Etablierung dieser und weiterer vektorübertragener Krankheiten spielen aber noch andere Faktoren eine Rolle. Voraussetzung ist nicht nur die Anwesenheit eines Vektors, sondern auch die des Erregers und eines Wirts am gleichen Ort zur gleichen Zeit. Zudem muss der Vektor mit dem Erreger infiziert sein (Adelphi/PRC/EU-RAC 2015). Solange der Krankheitserreger nicht in der Schweiz vorkommt, stellt die Verbreitung der Mücken keine Infektionsgefahr dar.

Mit Ausnahme der Leishmaniose sind alle anderen oben genannten Krankheiten nur in den Tropen verbreitet. In der Schweiz erfolgte Ansteckungen dieser Krankheiten wurden bisher nicht registriert.¹⁹ Im Ausland erkrankte Personen könnten jedoch in die Schweiz einreisen. Aufgrund der Präsenz des Vektors und unter geeigneten klimatischen Bedingungen wäre eine Ausbreitung der Krankheit dann möglich (FS7; siehe Kasten zu Chikungunya in Norditalien).

Mit dem Klimawandel wird die Aktivitätsphase der Zecken länger und sie werden sich in höheren Lagen ausbreiten können. Im Gegenzug könnte in tieferen Lagen, vor allem in der Südschweiz, aufgrund der hohen Temperaturen ein Rückgang stattfinden (FS2, FS4, FS7, FS8, EUA 2017). Die Viren der FSME sind wärmeempfindlich. Es wird daher in Zukunft eine Reduktion ihres Vorkommens in tieferen Lagen erwartet (OcCC/ProClim 2007). Hingegen könnten Regionen, wo Zecken mit Borreliose infiziert sind, zunehmen (FS6).

Die zukünftigen klimatischen Bedingungen könnten eine Zunahme von über Lebensmittel übertragenen Infektionskrankheiten begünstigen. Krankheitserreger könnten auch die Trinkwasserqualität beeinträchtigen. Aufgrund der regelmässigen Qualitätskontrollen wird ein Anstieg von Krankheitsfällen aber nicht als wahrscheinlich eingestuft (OcCC/ProClim 2007).

11.1.2 Allergien

Die Pollenbelastung in der Schweiz hat sich in den letzten Jahrzehnten verändert. Zudem haben sich gebietsfremde, allergene Pflanzen in der Schweiz verbreitet. Ein

18 Für die Asiatische Tigermücke liegt dieser bei 11 °C.

19 Eine Ausnahme ist die Flughafenmalaria: In der Nähe von Flughäfen wurden bereits Personen angesteckt, welche sich nicht in einem tropischen Land aufgehalten haben, sondern durch eingeschleppte Mücken mit dem Parasiten infiziert wurden.

Beispiel ist das hochgradig allergene Beifussblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*), das bei 10 Prozent der Schweizer Bevölkerung zu allergischen Reaktionen oder Asthma führt (FS2, FS4, FS5, FS7). Heute zeigen ungefähr 15 Prozent der Erwachsenen eine allergische Reaktion auf Pollen (FS1, FS3, FS6).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Der Klimawandel wird zu einer Verlängerung der Pollensaison führen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Für einige allergene Pflanzenarten könnte er aufgrund beschleunigter Entwicklungsstadien die Pollensaison aber auch verkürzen. Die Ursache des Klimawandels, die erhöhte CO₂-Konzentration in der Luft, könnte bei einigen Pflanzen, z. B. beim Beifussblättrigen Traubenkraut, zu einer erhöhten Pollenproduktion führen (Hamaoui-Laguel et al. 2015).

Die höheren Mitteltemperaturen begünstigen zudem eine Ausbreitung der Pflanzen in höhere Lagen (FS5, FS7). Weiter ermöglichen sie die Verbreitung von neuen allergenen Pflanzenarten. Auch dadurch kann sich die Pollensaison verlängern (FS1, FS6). Speziell allergene Pflanzen aus dem Mittelmeerraum, z. B. die Zypresse, das Glaskraut und der Olivenbaum, könnten in Zukunft vermehrt in der Schweiz anzutreffen sein (OcCC/ProClim 2007). Eine eventuelle Zunahme von langen Schönwetterperioden im Sommer könnte die Pollenbelastung weiter erhöhen. Mögliche Folgen davon sind eine Verstärkung der allergischen Reaktionen, eine Verlängerung der Belastungszeit und eine Erhöhung der Anzahl von Allergikern schweizweit (FS1, FS3, FS6).

Nicht nur allergene Pflanzen gefährden die Gesundheit. So verursacht ein Kontakt mit dem Riesenbärenklau unter Einwirkung von Sonnenlicht verbrennungsartige Hautentzündungen (BAFU 2016d). Die – gewollte oder ungewollte – Ansiedlung von weiteren Pflanzen, die gesundheitsschädigende Eigenschaften haben, wird in der Schweiz auch in Zukunft kaum verhindert werden können. Durch den Klimawandel könnte ihre Ausbreitung begünstigt werden.

11.1.3 Summarische Bewertung

Für das Mittelland, die grossen Agglomerationen und die Südschweiz wird bis 2060 eine moderate klimabedingte

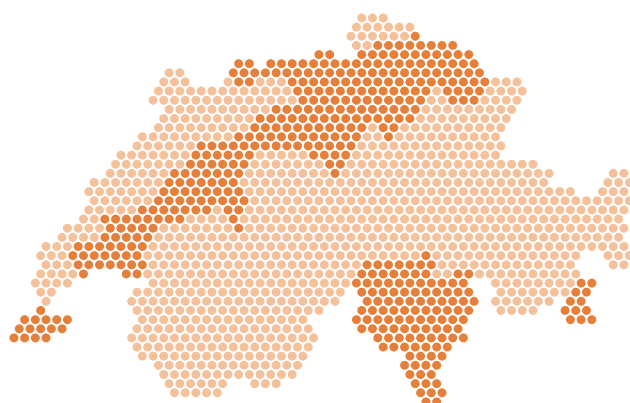
Zunahme des Risikos der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Krankheiten und gebietsfremde Arten erwartet. In diesen Regionen dürften sich die steigenden Mitteltemperaturen am stärksten auswirken. Im Jura, den Alpen und Voralpen wird hingegen nur eine geringe Zunahme bis 2060 erwartet (Abb. 45).

Abbildung 45

Veränderung der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat



Da die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere beim Auftreten gewisser Infektionskrankheiten, sehr gravierende Folgen haben kann, kommt diesem Risiko auch aus ethischer Sicht grosse Bedeutung zu. Ungeachtet der bestehenden Instrumente in den Bereichen Überwachung, Frühwarnung und Bekämpfung, schätzen Experten die Anpassungsfähigkeit der Schweiz an dieses Risiko eher tief ein (Jörin et al. 2016).

Auch sozioökonomische Veränderungen beeinflussen das Risiko. Die fortschreitende Globalisierung der Wirtschaft begünstigt das Einschleppen von Krankheitserregern und -überträgern (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Fernreisen, speziell auch in Länder mit höheren gesundheitlichen Risiken, könnten auch in Zukunft weiter zunehmen. Einerseits steigt aufgrund des Klimawandels vielerorts das Risiko einer Infektion, insbesondere in den Bereichen Trinkwasser und Lebensmittel (DEFRA 2012c). Andererseits besteht die Gefahr der

Einschleppung von Krankheitserregern in die Schweiz (FS4). Schliesslich steigt auch durch das Bevölkerungswachstum das Risiko von Kontakten mit gesundheits-schädigenden Organismen (Adelphi/PRC/EURAC 2015).

Aufgrund der klimatischen und sozioökonomischen Entwicklungen wird das Risiko einer zunehmenden Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit im Mittelland, den grossen Agglomerationen und der Südschweiz als prioritär eingestuft (Abb. 46).

Abbildung 46

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Es bestehen verschiedene Handlungsoptionen, um gesundheitliche Risiken zu reduzieren: die Beobachtung und Überwachung von (neuen) Vektoren und Infektions-

Chikungunya in Norditalien

2007 brach in Ravenna (Norditalien) eine Chikungunya-Epidemie aus. Der Ausbruch wurde durch die damals hohe Präsenz von Asiatischen Tigermücken und die Einreise einer erkrankten Person aus Indien verursacht. Insgesamt wurden über 200 Krankheitsfälle registriert, wovon einer tödlich endete. Durch geeignete Massnahmen zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke konnte die Ausbreitung der Krankheit unterbunden werden.

(Quelle: FS7)

krankheiten bei Mensch und Tier, Qualitätskontrollen von Trinkwasser und Lebensmitteln, Bekämpfung von (neuen) allergenen Pflanzen und die Sensibilisierung der Bevölkerung (Empfehlungen zum adäquaten Verhalten). Zudem kann die Verbreitung bestimmter Krankheiten durch Impfprogramme eingedämmt werden, und geeignete Therapien können die Erkrankung lindern und den Krankheitsverlauf verkürzen. Viele Massnahmen, z. B. die nationale Überwachung der Asiatischen Tigermücke, werden bereits erfolgreich umgesetzt (FS2, FS6, FS7, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

11.2 Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren

Nicht nur die Menschen, auch Heim- und Nutztiere können von Krankheiten betroffen sein, deren Verbreitung durch den Klimawandel beeinflusst wird. Die Tiergesundheit ist im Zusammenhang mit Zoonosen²⁰ auch für die menschliche Gesundheit (vgl. Kapitel 11.1) relevant. Die Gesundheit von Mensch und Tier kann daher nicht unabhängig betrachtet werden (FS2, OcCC/ProClim 2007). Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) trägt dem im sogenannten «One Health»-Ansatz Rechnung.

Die Verbreitung der Blauzungenkrankheit in Europa ist teilweise auf den Klimawandel zurückzuführen (FS4, FS6, Kovats et al. 2014). Sie wird durch Mücken der Gattung *Culicoides* übertragen. Befallen werden Wiederkäuer, vor allem Schafe und Rinder. In der Schweiz wurde der erste Erkrankungsfall 2007 gemeldet, seit 2012 ist die Schweiz dank Impfprogrammen wieder frei von der Blauzungenkrankheit (BLV 2013).

Borreliose wird durch Zecken auch auf Hunde übertragen, und die Erkrankung an Leishmaniose kann für Hunde tödlich enden (FS7).

Auch Pflanzen können für Nutztiere gefährlich sein. Das Schmalblättrige Greiskraut, eine gebietsfremde invasive Art, produziert Lebergifte. Speziell in der Landwirtschaft darf dieses Problem nicht unterschätzt werden (FS7).

²⁰ Krankheiten, die zwischen Menschen und anderen Wirbeltieren übertragen werden können

Für die Periode um 2060 wird eine moderate Zunahme der Beeinträchtigung der Tiergesundheit für das Mittelland und eine geringe Zunahme im Rest der Schweiz erwartet. In den Agglomerationen, wo die Nutztierhaltung nicht vorhanden ist, sind nur Heimtiere gefährdet, im Fall von Zoonosen jedoch auch der Mensch. Das Risiko wird im Mittelland als prioritär eingestuft (Abb. 47).

Abbildung 47

Grossraum, in welchem das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren» prioritär ist



11.3 Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft

Schadorganismen führen zu Ernteeinbussen in der Landwirtschaft. Zur Reduktion der Ernteeinbussen in der Pflanzenproduktion²¹ werden in der Schweiz jährlich über 2000 Tonnen Pflanzenschutzmittel eingesetzt (SCNAT 2016b).

Die wichtigsten Schädlinge sind Insekten, Nagetiere, Vögel, Schnecken und Milben. Auch Unkräuter verursachen Schaden, indem sie Nutzpflanzen konkurrenzieren. Pflanzenkrankheiten werden vor allem durch Pilze, Viren und Bakterien verursacht (FS6, Schweizer Bauernverband 2016). Einheimische und gebietsfremde Schadorganismen werden beide durch das Klima beeinflusst, die Verbreitung wird aber primär vom Menschen vorangetrieben (siehe Einleitung zu Kapitel 11).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Jahreszeitliche Veränderungen: Mildere Winter begünstigen das Überleben und die Ausbreitung vieler Schadorganismen. Speziell Insekten, Nagetiere, im Herbst keimende Unkräuter (z.B. Klettenlabkraut, Ackerfuchschwanz) sowie Schadpilze wie der Mehltau können davon profitieren (OcCC/ProClim 2007, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Weiter erhöhen mildere Frühlingstemperaturen die Wahrscheinlichkeit eines Befalls mit Schädlingen in der frühen Entwicklungsphase der Pflanzen. Das dürfte zum Beispiel bei Blattläusen der Fall sein, wenn diese früher von ihren Winterstandorten zu den Kulturpflanzen migrieren (OcCC/ProClim 2007).

Genereller Temperaturanstieg: Die höheren Temperaturen führen zu einer rascheren Entwicklung und weiteren Verbreitung bei Insektenarten. Dies begünstigt Schädlinge wie den Maiszünsler, den Maiswurzelbohrer, das Getreidehähnchen, die Blattlaus und den Kartoffelkäfer. Auch könnten Schädlinge mit einer mehrjährigen Entwicklungsdauer (z.B. Maikäfer-Engerlinge) in Zukunft in kürzeren Abständen zu Schadenereignissen führen (OcCC/ProClim 2007).

Höhere Temperaturen und eine längere Wärmeperiode werden es einigen Insektenarten ermöglichen, sich stärker zu vermehren. Maiszünsler und Apfelwickler entwickelten bisher ein bis zwei Generationen pro Saison. In Zukunft werden sie zwei bis drei Generationen ausbilden können (CH2014-Impacts 2014, OcCC/ProClim 2007). Zudem können auch Unkräuter (z.B. Ackerdistel, Ampfer und Quecke) von höheren Temperaturen profitieren, da sie aufgrund einer höheren Anpassungsfähigkeit einen Konkurrenzvorteil gegenüber Kulturpflanzen haben. Eine reduzierte Bodenbedeckung, verursacht durch Hitzewellen oder Erosion, könnte das Wachstum von Unkraut zusätzlich begünstigen (OcCC/ProClim 2007). Generell wird der Alpenkamm für invasive Arten einfacher überwindbar, da sich die kalte Zone nach oben verschiebt und verkleinert.

Positive Effekte: Auch Nützlinge könnten vom Klimawandel profitieren und gewisse Pflanzenkrankheiten seltener werden. Beispielsweise begünstigen höhere Temperaturen den Marienkäfer, der Blattläuse frisst (Freier &

²¹ Die Pflanzenproduktion umfasst den Futter-, Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau.

Trlotsch 1996). Zudem ist ein Rückgang des Befalls mit feuchtigkeitsliebenden Schadpilzen, zum Beispiel der Spelzenbräune oder den Ährenfusariosen, zu erwarten (OcCC/ProClim 2007).

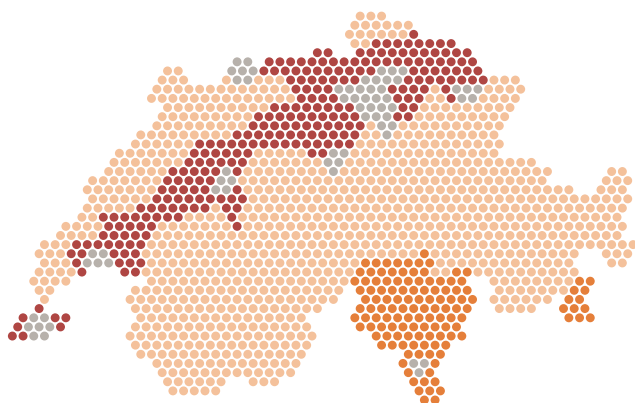
Im Mittelland wird eine bedeutende klimabedingte Zunahme des Risikos erwartet. Für das Tessin wird eine moderate, für die Voralpen, die Alpen und den Jura hingegen eine geringe Zunahme projiziert. In den grossen Agglomerationen ist dieses Risiko nicht relevant (Abb. 48).

Abbildung 48

Veränderung der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

- gering
- moderat
- bedeutend
- nicht relevant



Die Anpassungsfähigkeit der Schweiz bezüglich dieses Risikos wird von Experten als relativ hoch eingeschätzt. Gehemmt wird sie durch fehlende Technologien, da es wenig Alternativen zum teils umstrittenen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gibt (Jörin et al. 2016).

Auch sozioökonomische Veränderungen haben einen Einfluss auf die Ernteerträge in der Landwirtschaft (OcCC/ProClim 2007). Einerseits ist die Einführung von gebietsfremden Schadorganismen beschränkt beeinflussbar, da sie vor allem durch den verstärkten Güter- und Reiseverkehr verursacht wird (siehe Einleitung zu Kapitel 11). Andererseits unterliegt die Landwirtschaft einer Vielzahl

von ökonomischen und politischen Einflüssen, was sich auf ihre Handlungsspielräume auswirkt (vgl. Kapitel 4.1).

Aufgrund der klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen sowie der Bedeutung der Landwirtschaft für die Gesellschaft ist das Risiko im Mittelland prioritär (Abb. 49).

Abbildung 49

Grossraum, in welchem das Risiko «Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Ernteeinbussen können mit verschiedenen Mitteln eingedämmt werden. Dazu zählt die Bekämpfung von Schadorganismen. Diese ist allerdings mit Zusatzkosten verbunden und kann zu Umweltbelastungen und

Ernteeinbussen durch die Kirschessigfliege

Die Kirschessigfliege hat sich seit 2011 überall in der Schweiz verbreitet. Sie befällt Steinobst, Beeren und Trauben. Milde Winter und warme Frühlinge erhöhen die Grösse ihrer Population. Sie kann sich explosionsartig vermehren, da ein Weibchen bis zu 400 Eier legt und die Entwicklung zur erwachsenen Fliege, bei optimalen Bedingungen, nur zwei Wochen dauert (Kehrli et al. 2013). Seit 2011 werden in der Schweiz Schäden im Beerenanbau verzeichnet. Im Jahr 2014 wurden erstmals auch erhebliche Schäden an Steinobst- und Weinkulturen gemeldet.

(Quellen: FS5, Agroscope 2014)

Schäden an Ökosysteme führen (FS7). Prognose- und Überwachungssysteme dienen der Früherkennung neuer gebietsfremder Arten und erlauben es, Bekämpfungsstrategien rechtzeitig zu entwickeln. Auch die Züchtung und den Einsatz von robusten Sorten gilt es zu fördern (BAFU 2014a). Die angebauten Kulturen, mit Ausnahme der Dauerkulturen, können zudem jährlich variiert werden (FS4, OcCC/ProClim 2007). Weiter wird die Anpassung durch die Sensibilisierung der Landwirte und den Erfahrungsaustausch mit den Nachbarländern unterstützt (BAFU 2014a).

11.4 Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen

Der Wald erbringt zahlreiche Leistungen. Dazu gehören die Holzproduktion, der Schutz vor Naturgefahren, der Schutz vor Erosion, die Erhaltung der Biodiversität, das Filtern des Trinkwassers und der Luft und die Wasserspeicherung. Zudem kann er als Kohlenstoffspeicher, Sportgelände und Erholungsraum dienen (FS1, FS4, FS5).

Waldschädlinge, Pflanzenkrankheiten und invasive, gebietsfremde Arten können wesentliche Gründe für die Beeinträchtigung der Ökosystemleistungen der Wälder sein und Einwirkungen wie Trockenheit oder Sturm verstärken (FS3, FS6, FS7). Das Schwächen und Absterben der Bäume sowie ihre Verdrängung durch invasive Arten mit anderen Holzeigenschaften kann die Schutzleistung des Waldes herabsetzen (FS7). Von Schädlingen befallenes Holz und reduzierter Holzzuwachs führen zu Mindererträgen in der Holzproduktion (Anhang FS1). Zudem kann der Holzpreis einbrechen, wenn infolge von Massenerkrankung und Sturmereignissen Zwangsnutzungen notwendig werden (FS3).

Waldschädlinge: Einer der wichtigsten einheimischen Waldschädlinge ist der Buchdrucker, eine Borkenkäferart, die Fichten befällt (Pluess et al. 2016). Die Fichte ist die wirtschaftlich wichtigste Baumart in der Schweiz. Ihr Befall kann daher zu grossen Schäden führen (siehe nachfolgenden Kasten zu Fichtenholz) (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Weitere Arten, die zu Schadorganismen in Fichtenwäldern werden können, sind die Kleine Fichtenblattwespe und die Fichtengebirgsblattwespe. In

den Alpenländern, lokal auch in der Schweiz, wurden Massenvermehrungen der Fichtengebirgsblattwespe festgestellt und mit dem bisherigen Klimawandel in Verbindung gebracht (Schafellner & Schopf 2014, BAFU 2016b).

Invasive, gebietsfremde Tier- und Pflanzenarten: Der Götterbaum oder der Japanische Staudenknöterich sind invasive, gebietsfremde Pflanzenarten, deren Ausbreitung in Schutzwäldern die Schutzleistung vermindern kann (FS7, EUA 2016). Weit kritischer für die Schutzleistung der Wälder sind jedoch die gebietsfremden Schädlinge. Die ursprünglich aus China stammende Edelkastaniengallwespe, die als gefährlicher Schadorganismus eingestuft wird, hat sich in der Südschweiz stark verbreitet (Forster et al. 2009). Besonders gefährliche Schadorganismen und damit melde- und bekämpfungspflichtig gemäss Pflanzenschutzverordnung sind Kiefernholznematoden und der Asiatische Laubholzkäfer (BAFU 2016c). Der Asiatische Laubholzkäfer führt zu hohen wirtschaftlichen und ökologischen Schäden, da er im Gegensatz zu vielen anderen Schadorganismen auch gesunde Laubbäume befällt und sie zum Absterben bringt (Wermelinger et al. 2015).

Pflanzenkrankheiten: Der Feuerbrand ist eine durch Bakterien verursachte Pflanzenkrankheit, die sich in der ganzen Schweiz verbreitet hat. Die Pilzkrankheiten Ulmensterben (Ulmenwelke), Eschentriebsterben (Eschenwelke) und Kastanienrindenkrebs verändern die Zusammensetzung der Wälder und beeinträchtigen ihre Leistungen. Stark betroffen sind die vielen Tessiner Kastanienwälder (Rigling et al. 2016, EPSD/BLW/BAFU 2015).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Temperatur: Höhere Mitteltemperaturen führen bei Insekten, Bakterien und Viren generell zu einer rascheren Entwicklung (FS4). Zusammen mit einer früheren und längeren Vegetationsperiode erlauben sie einen früheren Befall und eine höhere Reproduktionsrate bei Insekten (FS1, FS3, FS6, CH2014-Impacts 2014). So geht man davon aus, dass spätestens 2085 der Buchdrucker im Mittelland jährlich drei statt wie heute zwei Generationen hervorbringen wird (Pluess et al. 2016). Insbesondere aufgrund der mildereren Winter könnte die Mortalität der Schädlinge während dieser Jahreszeit abnehmen, und sie könnten sich in höhere Lagen ausbreiten (FS3, FS6, FS7,

EUA 2016, Pluess et al. 2016). Generell verbessern sich mit dem Klimawandel die Lebensbedingungen für kälte-sensitive Krankheitserreger (EUA 2016).

Trockenheit: Von der zunehmenden Trockenheit können einige der Schadorganismen und Krankheitserreger profitieren, bei anderen wird die Ausbreitung hingegen gebremst (FS3, FS6). Indirekt begünstigt werden Schädlinge durch die Schwächung der Bäume durch Trockenheit (speziell der Fichte als Wirtsbaum des Buchdruckers), aber auch durch Hitzeperioden, Sturmereignisse und Waldbrände. Solche Ereignisse, welche in Zukunft häufiger auftreten könnten, machen Bäume anfälliger für einen Schädlingsbefall (Lévesque et al. 2015).

Wie in der Landwirtschaft (vgl. Kapitel 11.2) werden auch im Wald gewisse Schädlinge unter veränderten klimatischen Bedingungen keine geeigneten Lebensbedingungen mehr vorfinden, während es Nützlinge gibt, die vom Klimawandel profitieren (OcCC/ProClim 2007).

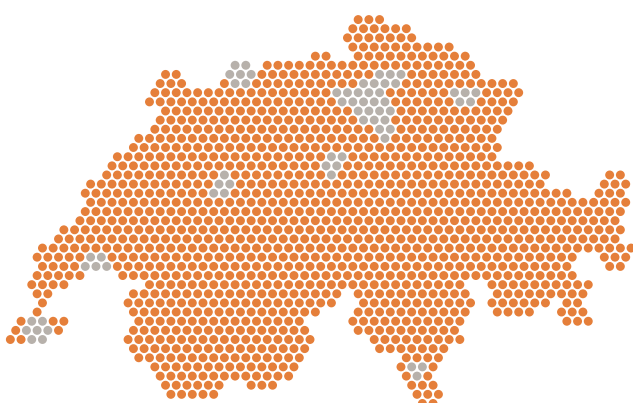
Eine moderate Zunahme des Risikos aufgrund der Beeinträchtigung von Waldleistungen durch Waldschädlinge, Pflanzenkrankheiten und invasive, gebietsfremde Arten wird im Mittelland erwartet. Auch für den Jura, die Südschweiz, die Alpen und die Voralpen wird eine moderate klimabedingte Zunahme projiziert. In den grossen Agglomerationen ist dieses Risiko nicht relevant (Abb. 50).

Abbildung 50

Veränderung der Beeinträchtigung von Waldleistungen pro Grossraum

Zunahme des Risikos:

● moderat ● nicht relevant



Das Waldgesetz des Bundes bietet günstige Rahmenbedingungen, um die Auswirkungen des Klimawandels aufzufangen (Jörin et al. 2016). Allerdings stellt die Langlebigkeit der Bäume und ihre langsame Entwicklung eine grosse Herausforderung dar. Für Bestände, die schlecht an die zukünftigen klimatischen Bedingungen angepasst sind, drohen potenziell irreversible Schäden (CH2014-Impacts 2014, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Ein wichtiger Einflussfaktor ist auch der zunehmend globalisierte Handel (siehe die Einleitung zu Kapitel 11). So muss erwartet werden, dass auch in Zukunft neue Schadorganismen in die Schweiz eingeschleppt werden (OcCC/ProClim 2007). Schliesslich wird der Handlungsspielraum der Waldwirtschaft massgeblich durch den Holzpreis beeinflusst. Dieser ist momentan sehr tief, so dass der Erlös die Erntekosten kaum deckt (FS1, FS3, FS4). Die eventuell steigende Nachfrage nach Energieholz könnte die finanziellen Rahmenbedingungen positiv beeinflussen (FS8).

Das Risiko ist aufgrund der erwarteten klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen sowie dem potenziell irreversiblen Ausmass gewisser Schäden in der ganzen Schweiz (abgesehen von den grossen Agglomerationen) prioritär (Abb. 51).

Abbildung 51

Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Es bestehen verschiedene Handlungsoptionen, die aufgrund der Langlebigkeit der Bäume und ihrer langsamen Entwicklung langfristig geplant werden müssen. Einerseits ist die Förderung von anpassungsfähigen Waldbeständen und die Streuung des Risikos auf eine breite Baumartenpalette zentral. Andererseits können Schadorganismen mit Überwachungs- und Bekämpfungsmassnahmen bis zu einem gewissen Ausmass unter Kontrolle gehalten werden. Bei Verlust der Schutzfunktion eines Waldes bieten sich auch technische Ersatzmassnahmen an. Diese sind allerdings oft mit sehr hohen Kosten verbunden (FS2, FS3, FS6, FS8, BAFU 2014a, OcCC/ProClim 2007).

Zwangsnutzung von Fichtenholz

Der Orkan Lothar im Jahr 1999 sowie der Hitzesommer und insbesondere die Trockenheit im Jahr 2003 führten zu einer Massenvermehrung des Buchdruckers. Einerseits konnte diese Borkenkäferart 2003 eine zusätzliche Generation anlegen, andererseits waren die Fichten anfälliger aufgrund ihrer Schwächung durch Sturm, Trockenheit und Hitze. In den Jahren 2000 bis 2008 hatte allein der Schädlingsbefall eine Zwangsnutzung von 8 Mio. m³ Fichtenholz zur Folge (Pluess et al. 2016). Im Jahr 2003 wurden circa 2 Mio. m³ befallenes Fichtenholz geschlagen (OcCC/SCNAT 2005).²²

²² Die durchschnittliche, jährliche Nutzung aller Holzarten beträgt 5 Mio. m³ (OcCC/ProClim 2007). Zu den Waldschäden durch den Orkan Lothar siehe auch den Kasten in Kapitel 8.

12 Verbesserung von Standortbedingungen



- Abnahme des Heizenergiebedarfs
- Zunahme der Erträge im Sommertourismus
- Zunahme der Erträge in der Landwirtschaft



Weinbau im Lavaux

Foto: Karen Desjardin/Getty Images/Moment Open

Wenngleich die Zahl der klimabedingten Risiken in der Schweiz bei Weitem überwiegt, führt der Klimawandel auch zu Chancen. In diesem Kapitel werden ausschliesslich prioritäre Chancen diskutiert. Weitere Chancen werden auch in den Kapiteln 5.2 (Zunahme der winterlichen Energieproduktion), 5.3 (Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten), im Kapitel 10 (Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft) sowie in Kapitel 14 (Klimabedingte Auswirkungen im Ausland) beschrieben.

Die Veränderung gewisser Klimaparameter kann sowohl Risiken als auch Chancen zur Folge haben. So führen weniger Schneefälle im Winter zu reduzierten Unterhaltskosten im Strassendienst, bringen aber gleichzeitig Ertragseinbussen für den Wintertourismus mit sich. Auch innerhalb eines Sektors können gegensätzliche Effekte auftreten. Die Landwirtschaft profitiert einerseits von einer längeren Vegetationsperiode, ist aber andererseits mit vermehrten, trockenheitsbedingten Ernteaussfällen konfrontiert. Bei der Wasserkraftproduktion bestehen

gegenläufige Tendenzen im Winter- und im Sommerhalbjahr. Es gibt keine Sektoren, in welchen nur klimabedingte Chancen und keine Risiken zu erwarten sind.

Es kann zwischen zwei Arten von Chancen unterschieden werden: solche, die automatisch eintreten (z. B. reduzierte Heizkosten) und andere, die mit gezielten Massnahmen aktiv anzugehen sind (z. B. zusätzliche Ertragspotenziale für den Sommertourismus im Berggebiet).

Beobachtete und erwartete Entwicklung

Klimabedingte Chancen entstehen vor allem aufgrund der Zunahme der Mitteltemperatur und ihrer Auswirkungen. Im Vergleich zur Periode 1980–2009 wird in der Schweiz für den Zeitraum um 2060 je nach Höhenlage und Jahreszeit eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur zwischen 2,8 und 3,7 °C projiziert. Am stärksten ist die erwartete Zunahme im Sommer, im Frühling und Herbst fällt sie etwas schwächer aus (CH2011 2011). Die höheren Durchschnittstemperaturen und die projizierten verminderten Niederschläge im Sommer und Herbst könnten zu einer

leichten «Mediterranisierung» der Schweiz führen (FS3, FS6 – FS8).

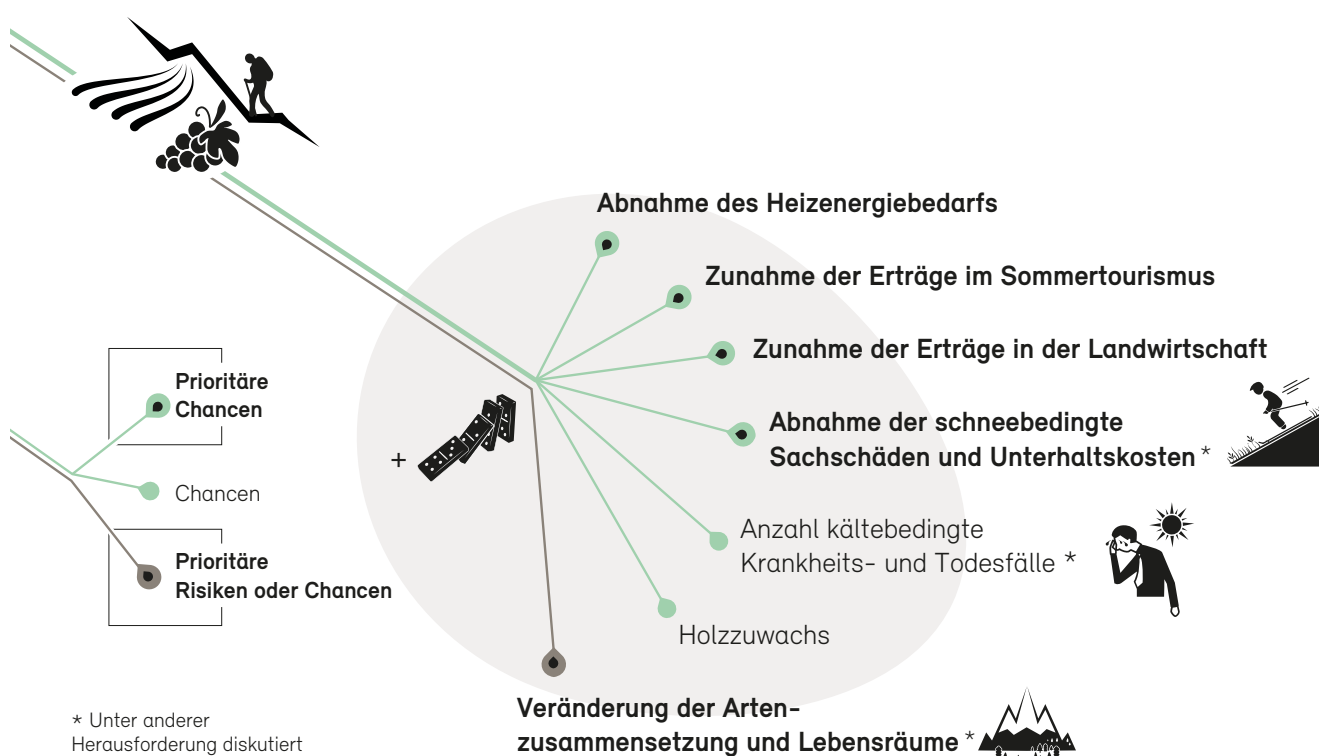
Verlängerung der Vegetationsperiode²³: Die höheren Mitteltemperaturen werden zu einer längeren und früher beginnenden Vegetationsperiode führen. Bis 2060 könnte die Dauer der Vegetationsperiode, abhängig von der Höhenlage, um rund 50 Tage zunehmen (MeteoSchweiz 2014a). Zudem wird sich die Vegetationsgrenze in höhere Lagen verschieben (FS5, FS8).

Abnahme der Anzahl Frosttage und der Schneebedeckung: Die Anzahl der Tage mit Minimaltemperatur unter 0 °C, sogenannte Frosttage, dürfte deutlich abnehmen. Im Zeitraum um 2060 könnten in höheren Lagen bis zu 60 Frosttage weniger registriert werden. In tieferen Lagen fällt die absolute Abnahme weniger gross aus, da

²³ Die Vegetationsperiode ist definiert als die Anzahl Tage pro Kalenderjahr zwischen dem ersten Auftreten einer 6-Tages-Periode mit Mitteltemperatur über 5 °C und dem ersten Auftreten einer 6-Tages-Periode mit Mitteltemperatur unter 5 °C, wobei Letztere nach dem 1. Juli auftreten muss.

Abbildung 52

Verbesserung von Standortbedingungen: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Chancen



Frosttage dort generell seltener auftreten. Auch Kälte- wellen werden bis 2060 einen Rückgang verzeichnen. Zudem bewirken höhere Temperaturen, dass der Niederschlag im Winter vermehrt in Form von Regen statt Schnee fällt. Dies führt zu einer Abnahme der Dauer und Mächtigkeit der Schneebedeckung. In tieferen Lagen könnte es um 2060 fast keine Schneefalltage mehr geben (MeteoSchweiz 2014a).

Abschmelzen der Gletscher: Deutliche Landschaftsänderungen sind bis 2060 durch das Abschmelzen der Gletscher zu erwarten. Es ist davon auszugehen, dass ungefähr 40 Prozent der vergletscherten Fläche der Schweiz (Stand 1985) bis dann verschwunden sein wird. Im vormals von Gletschern bedeckten Terrain können Überflutungen freigelegt werden, in welchen sich neue Seen bilden (BAFU 2012a).

Abbildung 52 zeigt die prioritären und nicht-prioritären²⁴ Chancen aufgrund der Herausforderung «Verbesserung von Standortbedingungen».

12.1 Abnahme des Heizenergiebedarfs

Ungefähr ein Viertel des Gesamtenergieverbrauchs der Schweiz ist auf Raumwärme zurückzuführen (BFE 2015b). Heizenergie wird vor allem in Wohngebäuden konsumiert, aber auch Gebäude von Industrie-, Dienstleistungs- und Gewerbebetrieben werden beheizt. Fahrzeuge mit fossilem Antrieb können mit der ohnehin anfallenden Abwärme beheizt werden, bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen wird zusätzliche Energie zum Heizen aufgewendet (FS1, FS7). So hat die Beheizung einen Anteil von fast 11 % am Energieverbrauch für den Fahrbetrieb der Schweizerischen Bundesbahnen (FS3, FS7).

Der Heizenergiebedarf ist hauptsächlich von der Aussentemperatur abhängig. Etwas weniger wird er auch von der Sonneneinstrahlung und der Windstärke beeinflusst

(Adelphi/PRC/EURAC 2015). Die Anzahl der Heizgradtage²⁵ ist ein guter Indikator für den Heizenergiebedarf.

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Die Anzahl der Heizgradtage unterliegt grossen, jährlichen Schwankungen, hat aber im Verlauf der letzten Jahrzehnte tendenziell abgenommen. Während der Periode 1980 – 2009 gab es im Schweizer Durchschnitt 3428 Heizgradtage pro Jahr. In der Periode 2000 – 2015 waren es noch durchschnittlich 2782 Heizgradtage pro Jahr (BFE 2015a).

Bis 2060 wird eine Reduktion der Anzahl Heizgradtage um ungefähr 30 Prozent gegenüber der Periode 1980 – 2009 erwartet. Dabei bestehen regionale Unterschiede bedingt durch die Höhenlage (FS1, FS5, FS7, FS8; Füssler et al. 2015).

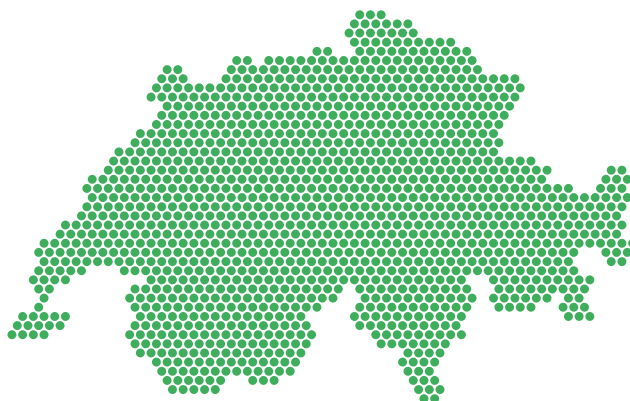
Für die ganze Schweiz wird eine bedeutende Abnahme des Heizenergiebedarfs projiziert (Abb. 53). Die Einsparungen an Heizenergie und Heizkosten im Winter werden voraussichtlich höher ausfallen als der zusätzliche Aufwand für Kühlung im Sommer (vgl. Kapitel 3.3) (CH2014-Impacts 2014).

Abbildung 53

Veränderung des Heizenergiebedarfs pro Grossraum

Zunahme der Chance:

● bedeutend



²⁴ Zur nicht-prioritären Chance «Abnahme der Anzahl kältebedingter Krankheits- und Todesfälle» siehe den Kasten in Kapitel 3.1.

²⁵ Die Heizgradtage sind definiert als die Summe der täglichen Abweichungen der mittleren Aussentemperatur von einer Raumtemperatur von 20 °C, und zwar an jenen Tagen, an denen die mittlere Aussentemperatur 12 °C oder weniger beträgt (BFE 2015a).

Reduktion der Heizkosten

Im Gebirgskanton Graubünden lebt über 41 % der Bevölkerung in Höhenlagen über 1000 Meter. Im Jahresdurchschnitt geben die fast 200 000 Einwohner 155 Mio. CHF für Heizzwecke aus. Bis 2060 könnten diese Kosten aufgrund des Klimawandels um ungefähr 39 Mio. CHF abnehmen.²⁶

(Quelle: FS5)

Der Konsum von Heizenergie hängt nicht nur von den klimatischen Bedingungen ab, sondern auch von mehreren sozioökonomischen Faktoren. Die Einsparungen von Heizkosten sind massgeblich von den Energiepreisen abhängig. Diese haben in den letzten Jahren stark fluktuiert. Die erwartete Bevölkerungszunahme und die Zunahme der Wohnfläche pro Kopf führen tendenziell zu einer Erhöhung des Energiebedarfs. Das Verhalten der Bevölkerung, steigende Komfortansprüche sowie Rebound-Effekte (z. B. Erhöhung der Heiztemperatur) könnten die Reduktion des Heizenergiebedarfs beträchtlich vermindern (Gonseth et al. 2017, EUA 2017). Andererseits sinkt der Heizenergiebedarf bereits heute aufgrund besserer Gebäudeisolation in Neu- und Sanierungsbauten. Diese Entwicklung dürfte sich auch in Zukunft fortsetzen. Die Chance eines reduzierten Heizenergiebedarfs besteht nicht nur in der Einsparung von Heizkosten, sondern auch in der Reduktion von Treibhausgasemissionen. In der Schweiz stammen immer noch rund 25 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen aus der Gebäudebeheizung (inkl. Warmwasseraufbereitung) (BAFU 2017b).

Trotz möglicherweise gegenläufiger sozioökonomischer Entwicklungen ist die Chance für die ganze Schweiz aufgrund der erwarteten klimatischen Veränderungen prioritär (Abb. 54).

Abbildung 54

Grossräume, in welchen die Chance «Abnahme des Heizenergiebedarfs» prioritär ist



Anpassungsmassnahmen

Energetische Sanierungen des Gebäudeparks, verbesserte Effizienz der Heizsysteme und politische Massnahmen können zu einer zusätzlichen Abnahme des Energieverbrauchs führen.

12.2 Zunahme der Erträge im Sommertourismus

Der Tourismus ist stark von den klimatischen und meteorologischen Bedingungen abhängig. Viele Touristen wählen ihre Reise- oder Ausflugsdestination aufgrund der klimatischen Bedingungen oder der Wetterprognosen für die betreffende Region aus – insbesondere bei Kurzaufenthalten in der Zwischensaison (Frühjahr/Herbst) (Serquet & Rebetez 2013).

Viele Regionen der Schweiz verzeichnen in den Sommermonaten höhere Besucherzahlen als in der restlichen Zeit des Jahres (FS3, FS6, FS7). Trotz der dominierenden Rolle des Wintertourismus in den Bergregionen gewinnt die Sommersaison in diesen Regionen an Bedeutung (SBS 2012). So werden beispielsweise in der Zentralschweiz bereits 40 Prozent der Erträge der Seilbahnen im Sommer erwirtschaftet (FS8).

Unter dem Begriff Erträge im Sommertourismus werden hier sowohl die direkten Einnahmen (Hotelübernachtun-

26 Allfällige sozioökonomische Effekte sind in dieser Zahl nicht berücksichtigt.

gen, Seilbahnbetrieb) als auch indirekte Erträge im Zusammenhang mit anderen Freizeitaktivitäten oder dem Verkauf von Gütern (z. B. Sportartikel, Lebensmittel) und Dienstleistungen (z. B. Freizeitangebote, Gastronomie) verstanden.

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Schon heute bevorzugen manche Touristen während Hitzeperioden Aktivitäten in den Bergen oder an Seen und Flüssen. Wenn es warm ist, ohne dass die Hitze als drückend empfunden wird, strömen die Besucher auch in die Städte, die eine «mediterrane» Atmosphäre bieten.

In den vergangenen Jahren hat sich der Triftgletscher, mit dessen Rückzug ein neuer See entstanden ist – unterstützt durch die attraktive Erschliessung mittels Hängebrücke –, zu einer Touristenattraktion entwickelt.

Der Anstieg der Mitteltemperaturen und die häufiger auftretenden Hitzeperioden, die Verlängerung der Sommersaison, die Abnahme der sommerlichen Niederschläge sowie die punktuelle Entstehung neuer Seen aufgrund des Abschmelzens der Gletscher sind Veränderungen, die günstige Bedingungen für zunehmende Erträge im Sommertourismus schaffen könnten.

«Sommerfrische» in den Bergen: Da die Temperaturen im Flachland und in den grossen urbanen Zentren während der Hitzeperioden immer häufiger Extremwerte erreichen dürften, ist davon auszugehen, dass sich Touristen vermehrt vom kühleren Bergklima angezogen fühlen (FS1, FS5, FS7, FS8, SAB 2010). Von dieser Verhaltensänderung im Bereich des Ferien- und Ausflugstourismus werden insbesondere die Bergregionen im Umfeld der grossen Zentren profitieren (FS3, FS6, FS8). Eine Korrelation zwischen der Anzahl der Übernachtungen von Schweizer Touristen im Berggebiet und hohen Temperaturen in tiefen Lagen konnte bereits nachgewiesen werden (Serquet & Rebetez 2011). Steigende Temperaturen stellen auch deshalb eine Chance für die Bergregionen dar, weil diese neue Besucher aus dem Kreis jener Personen anziehen könnten, denen das Klima im Mittelmeerraum zu heiss wird (FS5).

«Mediterranisierung» der Städte: Urbane Zentren werden unter Hitzeperioden besonders stark zu leiden haben.

Der Anstieg der Mitteltemperaturen und die Abnahme der Niederschläge im Sommer und Herbst könnten aber für Städte auch eine Chance darstellen. Dank eines Klimas, das z. B. mit lauen Abenden zum Aufenthalt im Freien lockt, könnten Städte mit attraktiv gestaltetem öffentlichem Raum (Flussufer, Parks, Teiche etc.), aber auch Seenregionen, in Zukunft zusätzliche Besucher anziehen (FS1).

«Verlängerung» des Sommers: Die Verlängerung der warmen Jahreszeit in Richtung Frühling und Herbst stellt eine weitere Chance dar, die zu höheren Besucher- und Übernachtungszahlen sowie der längeren Nutzung von Touristenattraktionen führen könnten (FS3, FS6, FS7). Die Abnahme der Niederschläge im Sommer und im Herbst eröffnet zudem neue Chancen für die Entwicklung von Outdoor-Freizeitangeboten (SCNAT 2016a). Auch im Tessin, einer Region, die schon heute ein tourismusfreundliches Klima geniesst, dürfte diese Entwicklung positive Auswirkungen haben, unter anderem weil sie es erlauben wird, die Badesaison zu verlängern (FS7).

Veränderung der Landschaft: Da die Gletscher einen hohen Stellenwert als touristische Attraktion geniessen (FS5), kann ihr Abschmelzen negative Auswirkungen auf die Wahrnehmung gewisser Destinationen haben (FS5, FS7, SCNAT 2016a). Unter günstigen Voraussetzungen können diese Auswirkungen durch die Entstehung neuer Seen aufgewogen werden (FS5, FS8, SCNAT 2016a). Die Folgen der Veränderung der Landschaft dürften je nach Region unterschiedlich sein und stark von den lokalen Gegebenheiten abhängen (NELAK 2013).

Der Alpen- und Voralpenraum sowie die Juraregion werden die Hauptgewinner sein, wenn sich das Touristenverhalten infolge höherer Temperaturen verändert. In diesen drei Regionen wird ein moderater Anstieg der Tourismuseinnahmen erwartet. Im Vergleich dazu wird in der Südschweiz, in den grossen Agglomerationen sowie im Mittelland mit einer geringen Veränderung der Tourismuserträge gerechnet (Abb. 55).

Abbildung 55

Veränderung der Erträge im Sommertourismus pro Grossraum

Zunahme der Chance:

- gering
- moderat



Der Tourismus wird nicht nur durch die klimatischen Parameter beeinflusst. Auch sozioökonomische Faktoren spielen in diesem Bereich eine wichtige Rolle. Dies gilt beispielsweise für die Wirtschaftslage in der Schweiz und im Ausland (insbesondere für die Wechselkursituation), die demografische Entwicklung (mehr ältere Personen), Trends im Tourismussektor oder die Qualität der Infrastrukturen (FS6 – FS8).

Die Chance von zunehmenden Erträgen im Sommertourismus wird in den Alpen, den Voralpen, dem Jura und der Südschweiz prioritär eingestuft (Abb. 56).

Abbildung 56

Grossräume, in welchen die Chance «Zunahme der Erträge im Sommertourismus» prioritär ist



Entwicklung der Besucherzahlen im Jura im Sommer 2015

Die Tourismusagentur *Jura Tourisme* registrierte zwischen dem (besonders regenreichen) Sommer 2014 und dem (von hohen Temperaturen geprägten) Sommer 2015 einen deutlichen Anstieg der Besucherzahlen. Die Hotelübernachtungen nahmen im Juli um 4,2 Prozent zu, die Zahl der Übernachtungen auf Campingplätzen stieg um 42,1 Prozent. Zudem liessen sich mehr Besucher in den Empfangsstellen von *Jura Tourisme* beraten (+7 % im Juli und im August), und der *Etang de la Gruère* war ein besonders beliebtes Ausflugsziel (+23 % im Juli und August). Die Freiberge (*Franches-Montagnes*) und ihr kühleres Klima lockten im Sommer 2015 am meisten Besucher an.

(Quelle: FS6)

Anpassungsmassnahmen

Angesichts des klimabedingten Potenzials für den Tourismus im Sommerhalbjahr sollten die betroffenen Regionen (insbesondere die Berg- und Seeregionen) Massnahmen treffen, um bestehende Chancen optimal zu nutzen, z. B. indem sie mehr Aktivitäten im Freien anbieten (FS8). Seilbahnunternehmen zählen zu den potenziellen Gewinnern der Entwicklung beim Sommertourismus im Berggebiet. Einige dieser Unternehmen haben bereits Massnahmen getroffen, um den Anteil des Sommertourismus am Jahresumsatz zu steigern (FS3).

Allerdings sind die Einbussen beim Wintertourismus (vgl. Kapitel 5.1) für die Seilbahnunternehmen oft grösser, da der grösste Teil der Umsätze im Winter erwirtschaftet wird. Der Tourismussektor muss sein Angebot deshalb gleichzeitig an das sich verändernde sozioökonomische Umfeld (neue Zielgruppen im Ausland, mehr ältere Besucher usw.) anpassen, um das Ertragsniveau halten zu können.

12.3 Zunahme der Erträge in der Landwirtschaft

Die Schweizer Landwirtschaft leistet wichtige Beiträge zur Ernährung der Bevölkerung und zum Erhalt der jahrhundertalten Kulturlandschaft (FS5, BFS 2016). Die klimatischen Bedingungen können Produktion und Ertrag der Landwirtschaft massgeblich beeinflussen (vgl. Kapitel 4.1) (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Auch die erhöhte CO₂-Konzentration in der Atmosphäre kann sich auf das Pflanzenwachstum auswirken (CO₂-Düngung). Da aber in der Regel andere Umweltfaktoren, wie Nährstoff- und Wasserangebot, limitierend wirken, ist dieser Effekt oft vernachlässigbar (Chmielewski 2007).

Festgestellte und projizierte Auswirkungen

Anstieg der Mitteltemperatur: Wärmere Mitteltemperaturen können sich, im Gegensatz zu Hitze, positiv auf die Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturen auswirken. Die Fotosyntheserate der Pflanzen hängt von der Verfügbarkeit von Licht, Nährstoffen und Wasser sowie von der Temperatur ab. Höhere Mitteltemperaturen können die Fotosyntheserate von Pflanzen, deren optimaler Temperaturbereich noch unterschritten ist, erhöhen und so ihr Wachstum beschleunigen (Chmielewski 2007). Bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen kann dies zu einer Steigerung der Erträge (Quantität und Qualität) führen (FS5, FS7). Beispielsweise lag im Jahr 2015 der Zuckergehalt der Zuckerrüben und der Weintrauben deutlich über dem langjährigen Durchschnitt (BAFU 2016b).

Ist die Zunahme der mittleren Temperaturen auch mit häufigeren Schönwetterperioden verbunden, entstehen nicht nur Vorteile für die Pflanzen, sondern auch für die Führung der Landwirtschaftsbetriebe. Mehr Feldarbeitstage erleichtern die Arbeitsorganisation und begünstigen die effiziente Auslastung der Landmaschinen (OcCC/ProClim 2007).

Verlängerung der Vegetationsperiode: Die Verlängerung der Vegetationsperiode kann zu einer grösseren Jahresproduktion (z.B. zusätzlicher Heuschnitt) führen (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a). Vor allem im Frühjahr könnten Eintritt und Dauer der pflanzlichen Entwicklungsstadien durch längere Perioden mit höheren Mitteltemperaturen positiv beeinflusst werden (Chmielewski 2007).

Abnahme der Frosttage: Frost während der Vegetationszeit kann zu erheblichen Schäden in der Landwirtschaft führen. Obst- und Weinbaukulturen sowie Gemüse reagieren besonders sensibel (FS4, FS5, FS8). Die Reduktion der Anzahl Frosttage wirkt sich daher positiv auf die Ernteerträge aus. Eine geringere Schneedecke führt zu einer Verschiebung der Vegetationsgrenze in höhere Lagen (FS3, FS6). Für den Ackerbau sind aber nur geringe Mehrerträge zu erwarten, da eine wirtschaftlich profitable Bewirtschaftung in diesen Lagen oft schwierig ist.

Die beschriebenen klimatischen Veränderungen wirken sich nicht nur positiv auf die Pflanzenarten aus. Pflanzen, deren Temperaturoptimum für die Fotosynthese bereits überschritten ist, werden von höheren Temperaturen negativ beeinflusst (Chmielewski 2007). Wegen des früheren Vegetationsbeginns wird das Risiko von Spätfrösten (wie im Frühling 2017), zumindest in höheren Lagen, weiterbestehen (OcCC/ProClim 2007). Zudem brauchen einige Arten, wie zum Beispiel Winterweizen, Zuckerrüben, Apfel- und Aprikosenbäume, eine Kälteperiode für die Auslösung der Keimung (FS3, FS4, FS6).

Generell können sich der Anstieg der Durchschnittstemperatur und die damit einhergehenden Veränderungen für viele Pflanzen (z.B. Raps, Soja, Reis, Tafeltrauben) positiv auswirken. Hingegen wird es in Zukunft im Mittelland schwieriger werden, Hafer und insbesondere Winterweizen zu kultivieren (OcCC/ProClim 2007, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a).

Eine Zunahme der landwirtschaftlichen Erträge wird nur eintreffen, falls keine anderen Faktoren, wie z.B. Wasserangebot und Nährstoffe, limitierend sind (FS1, FS3, FS7). Daher werden lokal grosse Unterschiede im Ausmass der Ertragssteigerung erwartet (BLW 2011). Ab einer Erwärmung von mehr als 2 bis 3 °C dürften Ertragseinbussen infolge Trockenheit und Schädlingsbefall die Zunahme der Ernteerträge aufgrund höherer Mitteltemperaturen überkompensieren (OcCC/ProClim 2007).

Der Anstieg der Mitteltemperaturen und dessen Sekundärfolgen wirken sich insgesamt positiv auf die Landwirtschaft aus (FS1, FS3 – FS8). Im Mittelland, den Voralpen und im Jura wird eine moderate Zunahme der Erträge

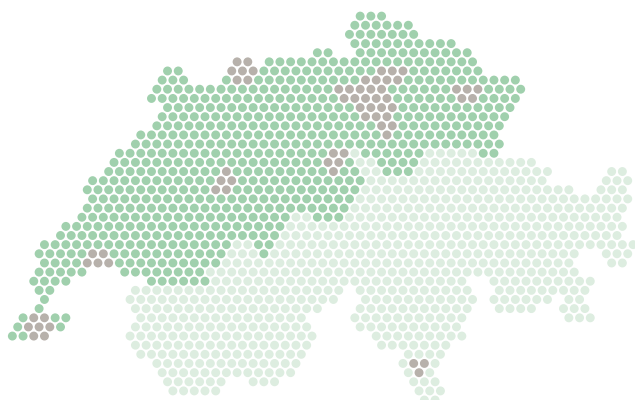
erwartet. In den Alpen und in der Südschweiz ist die Veränderung gering. In den grossen Agglomerationen ist die Landwirtschaft nicht relevant (Abb. 57).

Abbildung 57

Veränderung der Ernteerträge in der Landwirtschaft pro Grossraum

Zunahme der Chance:

- gering
- moderat
- nicht relevant



Sozioökonomische Entwicklungen haben einen grossen Einfluss auf den Sektor Landwirtschaft (FS3 – FS8). Die relevanten Veränderungen sind detailliert in Kapitel 4.1 beschrieben. Die Chance zunehmender Ernteerträge wird, gestützt auf die dominierenden klimabedingten Veränderungen, im Mittelland, den Voralpen und im Jura prioritär eingeschätzt (Abb. 58).

Abbildung 58

Grossräume, in welchen die Chance «Zunahme der Ernteerträge in der Landwirtschaft» prioritär ist



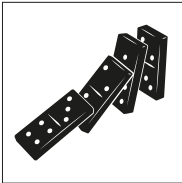
Chancen für den Weinbau

Durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen können in der Schweiz in Zukunft mehr Weinbausorten kultiviert werden (CH2014-Impacts 2014). In Genf wird unter anderem neu die Sorte Aramon angepflanzt werden können, im Tessin die Sorten Syrah und Tempranillo (FS4, FS7). Mit höheren Temperaturen dürfte auch der Zuckergehalt des Traubenmosts zunehmen, was zu einer besseren Qualität des Weins führt (FS5, FS7). Die Erträge im Rebbaue hängen aber nicht nur von der Temperatur ab. Auch der Schädlingsbefall könnte durch den Klimawandel beeinflusst werden.

Anpassungsmassnahmen

Die Ausbildung und Beratung der Landwirte muss den sich ändernden Standortbedingungen Rechnung tragen, damit die sich bietenden Chancen genutzt werden. Forschungsseitig stehen die Prüfung der Standorteignung bestimmter Kulturpflanzen, die Züchtung und der Einsatz von angepassten Sorten sowie die standortangepasste Bewirtschaftung im Vordergrund (FS3, FS5 – FS7, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a, BAFU 2014a). So könnten kälteempfindliche Pflanzenarten aus dem Mittelmeerraum neu in der Schweiz kultiviert werden, zum Beispiel Knoblauch, Auberginen, Peperoni, Oliven, Tomaten, Melonen und Zitrusfrüchte (FS4, OcCC/ProClim 2007). Beim Anbau solcher Pflanzen muss indessen das erhöhte Risiko von Frostschäden berücksichtigt werden.

13 Wildcards



- Schwer abschätzbare Risiken



Komplexe Systeme – wie z.B. die unterste Schicht der Erdatmosphäre – sind nur beschränkt vorhersagbar.

Nicht alle mit dem Klimawandel verbundenen Risiken lassen sich mit den gängigen Methoden der Risikoanalyse quantifizieren und bewerten. Man spricht in diesem Zusammenhang von sogenannten Wildcards. Der Begriff Wildcards betont den überraschenden (zufälligen) Charakter eines Ereignisses mit potenziell weitreichenden Folgen. Er wird in der Zukunftsforschung und in Szenarioanalysen verwendet für unerwartete Störereignisse, Schocks oder Diskontinuitäten (Steinmüller 2007). Wildcards zeichnen sich dadurch aus, dass sie:

- eine geringe Wahrscheinlichkeit haben;
- zu dramatischen Auswirkungen führen;
- sich überraschend ereignen.

Wildcards sind eng verknüpft mit den Wirkungsketten anderer Prozesse, Aktivitäten und Ereignissen in Natur, Gesellschaft und Wirtschaft. Für diese Art von Risiken wird auch der Begriff systemische Risiken verwendet (Nausser et al. 2015). Insbesondere die Eintrittswahrscheinlichkeit, aber auch das potenzielle Schadensausmass von systemischen Risiken lassen sich oft nur sehr grob abschätzen. Ihre Bewertung kann z.B. daran scheitern, dass Ereignisse nicht linear verlaufen und Kipp-Punkte auftreten können, an welchen sich der Systemzustand abrupt ändert. Auch Kaskadeneffekte sind ein typisches Merkmal von systemischen Risiken: Primärauswirkungen pflanzen sich über das betroffene System hinweg fort und führen, möglicherweise verzögert oder auf Umwegen, zu

Sekundär- und Tertiärschäden in weiteren, daran gekoppelten Systemen.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel gilt die Änderung der Meeresströmung zwischen der Karibik und dem Nordatlantik (Golfstrom), die zu einer deutlichen Abkühlung in Europa führen könnte, als mögliches Wildcard-Ereignis. Ein solches Szenario ist aufgrund des wissenschaftlichen Systemverständnisses plausibel, der Zeitpunkt seines Eintretens und sein Verlauf sind aber nach heutigem Stand des Wissens nicht vorhersehbar und die Konsequenzen für Europa wären – über die rein klimatischen Folgen hinaus – weitreichend.

Aus heutiger Sicht ist für die Schweiz beispielhaft das folgende Szenario eines Wildcard-Ereignisses denkbar: Durch das Auftauen des Permafrosts wird ein riesiger Felssturz in einen Stausee ausgelöst. Eine zerstörerische Flutwelle ergiesst sich zu Tal und richtet gewaltige materielle und immaterielle Schäden an. Als Folge entwickelt sich im Berggebiet überall dort, wo theoretisch dasselbe Szenario eintreten könnte, eine grosse Verunsicherung in der Bevölkerung. Eine Abwanderungswelle setzt ein, und die wirtschaftliche Nutzung und Entwicklung in den betroffenen Gebieten kommt weitgehend zum Erliegen (Buser 2007).

Dieses Beispiel macht deutlich, dass Wildcards zwar an einer bekannten Entwicklung – hier den Auswirkungen des Klimawandels auf die Stabilität von Felspartien im Gebirge – anknüpfen, ihre Tragweite sich aber erst aus der zeitlichen und räumlichen Verkettung von Folgeereignissen in Natur, Gesellschaft und Wirtschaft ergibt.

Die umfassende Liste der Risiken und Chancen im Anhang A1 beinhaltet verschiedene Wildcards, die im Rahmen der vorliegenden Risikoanalyse als für die Schweiz relevant identifiziert wurden. Diese lassen sich grob in drei Kategorien zusammenfassen:

1. Änderungen der atmosphärischen Zirkulation bzw. der Häufigkeit und Dauer (Persistenz) von Wetterlagen: Persistente Wetterlagen können zu anhaltenden Starkniederschlägen, ausgedehnten Trockenperioden oder extremen Hitzewellen führen. Sie können die Überlastung bzw. den Ausfall kritischer Infrastruktural-

ren wie Schutzbauten, Kraftwerke und Kläranlagen oder Wasserknappheit infolge eines stark und anhaltend absinkenden Grundwasserspiegels verursachen.

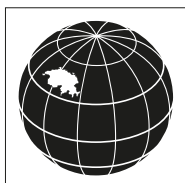
2. Das Zusammentreffen von Faktoren, die zu einem unvorhergesehenen Verlauf an sich bekannter Naturgefahren-Risiken führen: Dazu gehören Ereignisse an Orten, die bisher nicht als gefährdet galten, oder die unerwartete Beeinträchtigung publikumsintensiver Einrichtungen, z. B. wichtige, normalerweise nicht betroffene Bahnhöfe oder Verkehrsachsen.

3. Das Eintreten von Situationen, für die es keine Präzedenzfälle oder Vorsorgemöglichkeiten gibt: Solche können sich z. B. dann ergeben, wenn unbekannte, für Fauna oder Flora kritische Temperaturen in natürlichen Gewässern überschritten werden, wenn in Ökosystemen neue, invasive Arten auftreten oder wenn die Gesundheit von Menschen, landwirtschaftlichen Kulturen oder (Schutz-)Wäldern überraschend durch neue Schädlinge oder Krankheiten beeinträchtigt wird.

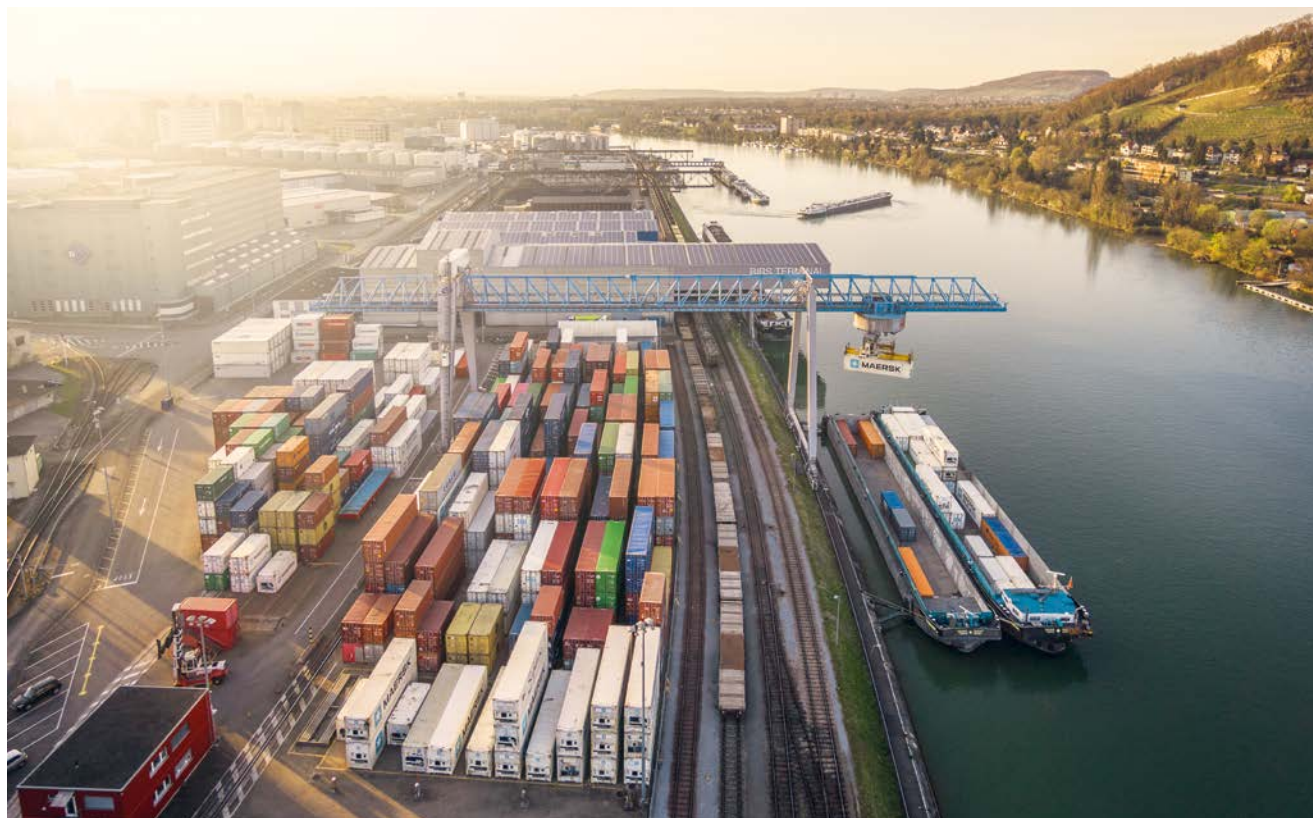
Je weiter sich das Klima von der historisch bekannten Schwankungsbreite entfernt, desto grösser wird die Wahrscheinlichkeit, dass Situationen eintreten, die den Charakter von Wildcards haben. Bei fortgeschrittenem Klimawandel dürften auf dem gesamten Gebiet der Schweiz neue Risiken oder Chancen auftreten, die sich heute nicht voraussehen oder abschätzen lassen.

In der Anpassungspraxis ist es weder sinnvoll noch möglich, sich auf alle Eventualitäten vorzubereiten. Der Nutzen der Beschäftigung mit Wildcards besteht in erster Linie darin, den Horizont zu erweitern und sich mit – negativen, aber auch positiven – Entwicklungen auseinanderzusetzen, die den Rahmen des Erfahrungswissens sprengen. Wer sich wenig wahrscheinliche oder kontraintuitive Ereignisverläufe vorstellen kann, wird bei der Entwicklung von Massnahmenplänen auch überraschende Elemente mitbedenken und innovative, robustere oder flexiblere Lösungen einbeziehen (Steinmüller & Steinmüller 2004).

14 Klimabedingte Auswirkungen im Ausland



- Indirekte Risiken
- Indirekte Chancen



Rheinhafen Birsfelden

Foto: Patrick Walde

Viele klimabedingte Auswirkungen im Ausland gehören aus Sicht der Schweiz zu den systemischen Risiken. Die Folgen klimabedingter Ereignisse im Ausland können sich über lange Prozessketten (Sekundär- und Tertiärschäden) hinweg fortpflanzen, sodass ein Zusammenhang zwischen Ursache (im Ausland) und Auswirkung (in der Schweiz) nicht unmittelbar erkennbar sein muss.

Die Schweiz ist durch den Import und Export von Gütern und Dienstleistungen stark in das internationale Wirtschaftsgeschehen eingebunden. Insbesondere in Bereichen wie

der Energie- und der Nahrungsmittelversorgung, aber auch bei den Grundstoffen für die industrielle Produktion weist sie eine grosse Abhängigkeit von kritischen Importgütern auf (BWL 2016). Auch für den Dienstleistungssektor, sei es in den Bereichen Finanz- und Versicherungswirtschaft, Beratungsdienstleistungen oder Tourismus, spielt der Austausch mit dem Ausland eine zentrale Rolle.

Die starke Auslandabhängigkeit kann u. a. anhand des Anteils der Landfläche, die die Schweiz im Ausland beansprucht, illustriert werden: Mittels statistischer Ana-

lysen des weltweiten Handels (Yu et al. 2013) lässt sich abschätzen, dass 84 Prozent der Flächen, die benötigt werden, um die in der Schweiz verbrauchten Güter herzustellen, im Ausland liegen. Wenn durch den Klimawandel diese Flächen oder daran gekoppelte Beschaffungs-, Produktions- und Verteilsysteme beeinträchtigt werden, hat dies potenziell weitreichende Auswirkungen für die Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz.

Erste Schätzungen (Schwank et al. 2007) kamen aufgrund von Expertengesprächen zum Schluss, dass die volkswirtschaftlichen Auswirkungen im Ausland jene im Inland überwiegen dürften. Dieser Befund deckt sich mit einer entsprechenden Untersuchung für Grossbritannien (PwC 2013). In einer aktuellen Studie (Rüttinger & Pohl 2016) werden aus aussen- und sicherheitspolitischer Sicht vier Klima-Fragilitätsrisiken identifiziert – lokale Ressourcenkonflikte, bedrohte Lebensgrundlagen und Migration, Extremwetterereignisse und Katastrophen sowie schwankende Lebensmittelpreise –, «die bereits heute beobachtbar sind, sich in Zukunft aber noch deutlich verstärken dürften.» Zumindest in den besonders exponierten Bereichen sollten klimabedingte Auswirkungen im Ausland bei der Anpassung im Inland mitbedacht werden. Ein vorausschauender Umgang mit diesen ist letztlich auch ein Vorteil im internationalen Wettbewerb (Bresch 2016).

Die Auswirkungen im Ausland können für die Schweiz eine mit den prioritären Risiken und Chancen im Inland vergleichbare oder noch grössere Tragweite haben. Allerdings ist der Klimawandel nur ein Faktor unter mehreren, die sich auf die Entwicklungsperspektiven der Schweiz auswirken. Internationale wirtschaftliche, politische, technische oder demografische Trends im In- und Ausland überlagern sich und erschweren es, die Auswirkungen des Klimawandels isoliert abzuschätzen.

Risiken (–) und Chancen (+), die aufgrund der internationalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz zunehmende Relevanz erlangen dürften, sind:

- die Abnahme der Versorgungssicherheit wegen klimabedingten Störungen bei der Herstellung und beim Transport wichtiger Importgüter;

Störungsanfälligkeit internationaler Handelsströme

Dass die Anfälligkeit einer globalisierten Wirtschaft gegenüber Störungen zunimmt, lässt sich an klimabedingten und anderen katastrophalen Ereignissen illustrieren. Die OECD (2014) hat verschiedene Fälle dokumentiert, die die Tragweite von Versorgungsengpässen in globalen Lieferketten aufzeigen. Überschwemmungen im Grossraum Bangkok führten 2011 dazu, dass sich das weltweite Angebot an Festplattenlaufwerken für Computer vorübergehend um rund 30 Prozent verknappte. Der Tsunami, der im gleichen Jahr die japanische Ostküste traf, wirkte sich sowohl auf die globale Automobil- als auch auf die Elektronikindustrie aus, weil wichtige Hersteller von Fahrzeuglacken und Mikrochips während längerer Zeit ausfielen.

In der Schweiz bleibt der heisse und niederschlagsarme Sommer 2003 in Erinnerung, der u. a. zu massiven Einschränkungen der Rheinschifffahrt führte: Nicht nur der Lastschiffbetrieb war beeinträchtigt, auch die Kapazitäten im Schienengüterverkehr entlang des Rheins reichten nicht aus, um die an den Nordseehäfen angelieferten Mineralölprodukte, Container und Metalle zu übernehmen. Grössere Mengen an Getreide mussten dort zwischengelagert werden, bis sich die Lage auf dem Rhein wieder normalisiert hatte (BUWAL et al. 2004).

- Änderungen in der Produktivität ausländischer land- und forstwirtschaftlicher Systeme mit Auswirkungen insbesondere auf die Lebensmittel-, Textil-, Holz- und Papierindustrie;
- die Zunahme der Preisvolatilität landwirtschaftlicher Produkte;
- Ertragseinbussen für die Exportwirtschaft wegen abnehmender Kaufkraft in klimaexponierten Ländern;
- die Zunahme der Anlagerisiken bei klimaexponierten Investitionen;
- die Abnahme der politischen Stabilität und der internationalen Sicherheit bei gleichzeitiger Zunahme von klimainduzierten globalen Migrationsströmen;

-
- + die Zunahme der internationalen Nachfrage nach Beratung sowie planerischen und ingenieurtechnischen Dienstleistungen für die Klimaanpassung;
 - + die Zunahme der internationalen Nachfrage nach (Rück-)Versicherungsleistungen;
 - + die Verbesserung der Wettbewerbsposition der Schweiz im Tourismus (Sommerfrische, relative Schneesicherheit).

Die vollständige Liste der in der Literatur identifizierten Risiken und Chancen findet sich im Anhang A1.

15 Umgang mit Unsicherheiten

Aussagen zur zukünftigen Entwicklung des Klimasystems, aber auch der Natur, der Gesellschaft und der Wirtschaft sind zwangsläufig mit Unsicherheiten verbunden. Zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels bis 2060 und zur Bewertung und Priorisierung der Risiken und Chancen, die sich für die Schweiz ergeben, müssen zahlreiche Annahmen getroffen werden. Diese reichen von der erwarteten Entwicklung der Treibhausgasemissionen über deren Einfluss auf das globale und lokale Klima, die dadurch verursachten Veränderungen in Natur, Gesellschaft und Wirtschaft bis hin zur Frage, wie sich die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von Gesellschaft und Wirtschaft gegenüber Störungen aufgrund klimaunabhängiger Faktoren (politische Entwicklungen, gesellschaftliche und wirtschaftliche Trends, technologische Innovationen etc.) verändert.

Ursachen für Unsicherheit

Das der Risikoanalyse zugrunde gelegte Emissionsszenario geht bewusst von einem starken Klimawandel aus (vgl. Anhang A2). Es ist plausibel, entspricht aber nur einer der zahlreichen möglichen Realisierungen des Klimawandels. Falls auf internationaler Ebene anspruchsvolle Reduktionsziele konsequent umgesetzt werden, ist es denkbar, dass die Emissionen bis 2060 gegenüber heute abnehmen und die Auswirkungen milder ausfallen als angenommen. Das gewählte Szenario rechtfertigt sich dadurch, dass die Schweiz auch für eine weniger optimistische Entwicklung vorbereitet sein sollte.

Emissionsszenarien lassen sich in Klimamodelle übersetzen, die Auskunft über die mögliche Entwicklung einzelner Klimaparameter geben. Für gewisse Parameter (insbesondere Temperatur, Niederschlag, Schneefallgrenze) können aus den Modellen bereits relativ robuste Aussagen abgeleitet werden. Mit grösseren Unsicherheiten behaftet sind Aussagen über die Entwicklung seltener Ereignisse wie Extremniederschläge oder Stürme. Extremniederschläge können aber – neben weiteren Faktoren – eine wichtige Rolle als Auslöser für schadenenträchtige Ereignisse wie Hochwasser, Murgänge oder Rutschungen spielen.

Was die Auswirkungen des Klimawandels auf die Natur betrifft, überlagern sich die Unsicherheiten der Kli-

ma-modelle mit den lückenhaften Kenntnissen über die Empfindlichkeit einzelner Arten und ganzer Ökosysteme gegenüber Änderungen des Klimaregimes. Das macht es auch schwierig abzuschätzen, was der Klimawandel z. B. für die Ausbreitung von Krankheitserregern, Schädlingen oder invasiven Arten und damit für die menschliche Gesundheit oder die Land- und Waldwirtschaft bedeutet.

Zukünftige Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft sind ihrerseits stark abhängig von den Annahmen über die Entwicklung von Bevölkerung, Siedlungsraum, Wirtschaftstätigkeit etc. Diese Annahmen haben einen starken Einfluss auf das Ausmass möglicher zukünftiger Schäden und können zu einer Über- oder Unterbewertung von Risiken oder Chancen führen.

Wie in den Kapiteln 13 und 14 ausgeführt, muss zudem bei fortschreitendem Klimawandel mit Auswirkungen gerechnet werden, die mit den konventionellen Methoden der Risikoanalyse nicht bewertet werden können. Wildcards sowie klimabedingte Auswirkungen im Ausland beinhalten eine zusätzliche Unsicherheitskomponente, die nur in sehr beschränktem Umfang reduziert werden kann.

Verminderung von Wissenslücken

Dank langjähriger, intensiver Forschungsarbeiten ist es gelungen, die Unsicherheiten, die viele Aussagen über den Klimawandel kennzeichnen, deutlich zu verringern. Weitere Analysen sind aber unverzichtbar, damit Klimamodelle die zukünftige Entwicklung realistischer und detaillierter abbilden, Risiken früher erkannt, mögliche Ereignisverläufe und Handlungsoptionen besser verstanden und Gegenmassnahmen gezielter umgesetzt werden können.

Grösserer Forschungsbedarf besteht im Bereich der Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche und sozioökonomische Systeme. Zwar wurden in der Schweiz bereits zahlreiche Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt (z. B. Pluess et al. 2016, CH2014-Impacts 2014, BAFU 2012a, SECO 2011). Für gewisse Fragestellungen – z. B. was natürliche Ökosysteme oder gesundheitliche Risiken für Mensch und Tier betrifft – sind aber zusätzliche Analysen erforderlich, da-

mit Handlungsbedarf und/oder Handlungsmöglichkeiten umfassender und differenzierter beurteilt werden können. Auch bei der Überwachung und Früherkennung von Risiken bestehen noch zahlreiche Lücken, die geschlossen werden sollten, damit sich anbahnende Veränderungen rechtzeitig festgestellt und ihre möglichen Konsequenzen korrekt eingeschätzt werden können (ProClim 2015).

Die Entwicklung von Gesellschaft und Wirtschaft und damit das Ausmass, in dem materielle und immaterielle Werte dem Klimawandel in Zukunft ausgesetzt sein werden, ist ein weiterer Fragenkomplex, dem bisher erst wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Gegenwärtig gibt es keine breit angelegten Analysen, die es erlauben, die Verletzbarkeit von Gesellschaft und Wirtschaft gegenüber klimabedingten Störungen, aber auch die Anpassungsfähigkeit an krisenhafte Ereignisse, zu beurteilen.

Wenn es um langfristige Veränderungen in komplexen Systemen geht, kann die Forschung an ihre Grenzen stossen. Wo sich Unsicherheiten mittels vertiefter Analyse nicht beseitigen lassen, können Szenariotechniken ein möglicher Ausweg sein. Sie erlauben es, plausible Entwicklungspfade zu beschreiben, damit verbundene Risiken zu erkennen und Anpassungsoptionen zu evaluieren (IRGC 2013, IRGC 2015).

Angemessenheit von Massnahmen

Ziel der Anpassungsstrategie des Bundesrates (BAFU 2012b, BAFU 2014a) ist es, die Schweiz auf die heute absehbaren, aber auch auf weniger wahrscheinliche Folgen des Klimawandels bestmöglich vorzubereiten. Zu diesem Zweck sind – wo bereits möglich und sinnvoll – Massnahmen zu ergreifen, die gewährleisten, dass mittel- und langfristige Risiken des Klimawandels tragbar bleiben.

Eine zentrale Herausforderung besteht darin, trotz vorhandener Unsicherheiten zu bestimmen, welche Massnahmen den identifizierten Risiken angemessen sind. Wo es darum geht, mögliche, potenziell irreversible Schäden zu einem späteren Zeitpunkt zu verhindern, darf mangelndes Wissen über die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Schadensausmass nicht zum Nicht-Handeln oder Abwarten verleiten. Vielmehr sollen, auf Basis des besten verfügbaren Wissens, plausible Entwicklungen aufgezeigt, daraus Handlungsoptionen abgeleitet und

Massnahmen begründet werden. Effektivität, Effizienz, Fairness und Resilienz sind Kriterien, die dabei helfen können, angemessene Lösungen zu finden (Renn 2014, Renn 2015).

Oft können Massnahmen an bestehende Konzepte und Dispositive im Umgang mit konventionellen Risiken (Schutz vor Naturgefahren, Umgang mit Trockenheit, Bekämpfung von Schadorganismen etc.) anknüpfen. Entscheidend ist dabei, dass dem dynamischen Charakter des Klimawandels vorausschauend Rechnung getragen wird.

Handlungsoptionen

Die Wahl geeigneter und angemessener Anpassungsstrategien und -massnahmen muss sich daran orientieren, dass das Wissen über die Auswirkungen des Klimawandels oder den optimalen Massnahmenmix oft begrenzt ist, mit der Umsetzung von Massnahmen aber nicht zugewartet werden sollte, bis völlige Gewissheit besteht. Die folgenden Typen von Massnahmen bzw. Prinzipien der Massnahmengestaltung bieten sich unter diesen Voraussetzungen an (UKCIP 2007, Martin 2012).

Win-win-Massnahmen: Diese Massnahmen dienen der Anpassung an den Klimawandel, selbst wenn sie primär aus anderen Gründen ergriffen werden. Sich bietende Gelegenheiten werden genutzt, um einen Zusatznutzen aus Sicht der Klimaanpassung zu erzielen, ohne dass dafür ein grösserer Zusatzaufwand geleistet werden muss. Beispiele:

- Aussenräume in Siedlungsgebieten werden so geplant, dass sie die Lebens- und Erholungsqualität steigern, gleichzeitig einen wirksamen Beitrag zur Entwässerung bei Starkniederschlägen leisten, die Windzirkulation begünstigen und schattige Aufenthaltsmöglichkeiten bieten (Ville de Sion 2017).
- Die Regionalentwicklungsstrategie bezieht Chancen und Risiken aus dem Klimawandel mit ein und nutzt diese für die (Neu-)Positionierung der Region (Regionalkonferenz Oberland-Ost 2016).
- Baumbestände werden verjüngt zur Erhaltung der Schutzfunktion. Durch den Einsatz von trockenheitsresistenten Arten wird auch die Anpassungsfähigkeit erhöht.

- Die Neukonzessionierung eines Wasserkraftwerks wird so ausgestaltet, dass sie der Energieerzeugung, gleichzeitig aber auch dem Hochwasserschutz und der Versorgungssicherheit dient und dass bei Bedarf Löschwasser zur Verfügung steht.

No-regret-/Low-regret-Massnahmen: Hier steht im Vordergrund, dass kurzfristig Massnahmen realisiert werden, die auch unter aktuellen Klimabedingungen einen positiven (Neben-)Nutzen haben. Konflikte mit anderen Zielen werden vermieden, und die längerfristige Wirkung im Zusammenhang mit der Klimaanpassung ist von untergeordneter Bedeutung. Low-regret-Massnahmen unterscheiden sich graduell von No-regret-Massnahmen, indem höhere Erwartungen an ihren Nutzen für die Klimaanpassung gestellt und (moderate) Zusatzkosten in Kauf genommen werden. Beispiele:

- Anbau robuster, weniger witterungsempfindlicher Kulturen in der Landwirtschaft
- Ausrichtung von Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren auf den Überlastfall
- Planung und Bau von Gebäuden, die ein angenehmes Wohn-/Arbeitsklima auch bei hohen Temperaturen gewährleisten
- Aufbau von Monitoring- und Warnsystemen, die bekannte oder potenzielle neue Gefahrenherde von Massenbewegungen oder das Auftreten von Schadorganismen überwachen

Flexibilität und Resilienz: Flexibilität rückt das iterative Vorgehen bei der Klimaanpassung in den Vordergrund. Massnahmen werden so gestaltet, dass sie unter heutigen Bedingungen ihren Zweck erfüllen (z. B. das erforderliche Sicherheitsniveau gewährleisten), aber mit vertretbarem Aufwand angepasst werden können, wenn sich die Rahmenbedingungen ändern. Handlungsspielräume werden gewahrt und Massnahmen lassen sich präziser ausrichten, sobald zusätzliche Erkenntnisse verfügbar werden.

Flexibilität ist auch ein Kerngedanke von Strategien, die die Stärkung der Resilienz von Natur, Gesellschaft und Wirtschaft gegenüber klimabedingten Störungen zum Ziel haben. Resiliente Systeme verfügen typischerweise über mehrere Sicherheitsnetze, die sie robuster machen

gegen den temporären Ausfall einzelner Teilsysteme oder Funktionen (Nauser et al. 2015).

Resiliente Systeme zeichnen sich durch Eigenschaften wie Redundanz, Dezentralität, Diversität, Fehlerfreundlichkeit, Robustheit sowie soziales Kapital (als Ressource zur Krisenbewältigung) aus. Diese Eigenschaften kommen zum Ausdruck zum Beispiel in:

- vernetzten natürlichen Lebensräumen;
- vielfältigen, lokal angepassten landwirtschaftlichen Kulturen;
- dezentralen, koppelbaren Quellen für Wasser- und Stromversorgung;
- mehreren, voneinander unabhängigen Transport- und Kommunikationssystemen;
- Notfallplänen für den Umgang mit Krisensituationen und neuen Gesundheitsrisiken;
- der Förderung des Risikobewusstseins und der Stärkung des Präventionsgedankens.

Insbesondere bei Wildcards oder länderübergreifenden systemischen Risiken kann nur sehr beschränkt auf die bewährten Verfahren des Risikomanagements zurückgegriffen werden. Sie rufen nach alternativen Strategien, die stärker an der Fähigkeit, auf aussergewöhnliche Situationen flexibel zu reagieren und den Ausfall kritischer Systeme zu überbrücken, orientiert sind.

Abschliessend ist zu betonen, dass – gerade aufgrund der beträchtlichen Unsicherheiten, die mit dem durch den Menschen verursachten Klimawandel verbunden sind – parallel zur Anpassung die Vermeidung von Treibhausgasemissionen als genereller Grundsatz geboten ist. Der Zusammenhang von Treibhausgasemissionen und Klimawandel ist hinlänglich gut belegt. Die Emissionsreduktion bleibt damit die wichtigste Strategie zur Vermeidung oder Verminderung möglicherweise unkontrollierbarer Auswirkungen.

A Anhang

A1 Vollständige Liste aller klimabedingten Risiken und Chancen

Nachfolgend werden alle in der Risikoanalyse identifizierten, klimabedingten Risiken und Chancen aufgeführt, sowohl die prioritären (fett gedruckt und mithilfe eines farbigen Aufzählungspunkts markiert) als auch die nicht-prioritären. Alle Risiken und Chancen sind einer Herausforderung des Klimawandels zugeteilt und in der folgenden Liste danach geordnet.

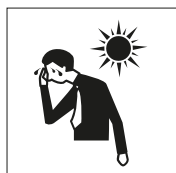
Redundanzen ergeben sich bei der Auflistung der Risiken und Chancen, welche die Biodiversität betreffen. Einerseits sind alle unter der Herausforderung «Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft» aufgeführt (analog der Struktur des Berichts). Andererseits sind einzelne Risiken oder Chancen der Vollständigkeit halber auch unter den anderen Herausforderungen erwähnt, sofern die entsprechenden Herausforderungen die Biodiversität beeinflussen.

- Farblegende
- Risiko
 - Chance
 - Risiko und Chance

Herausforderung

Risiko/Chance

Grössere Hitzebelastung



● Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

- Zunahme der hitzebedingten Mortalität
- Zunahme der hitzebedingten Morbidität (Hitzestress)
- Zunahme von ozonbedingten Auswirkungen aufgrund häufigerer Sommersmoglagen
- Zunahme des Hautkrebsrisikos
- Einschränkung des Gesundheitszustands und/oder Wohlbefindens

● Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit

- Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit

● Zunahme des Kühlenergiebedarfs

- Zunahme des Kühlbedarfs von Gebäuden
- Zunahme des Kühlbedarfs von Industrieanlagen
- Zunahme des Kühlbedarfs im Individualverkehr
- Zunahme des Kühlbedarfs im öffentlichen Verkehr

● Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität

- Zunahme der Beeinträchtigung von Tieren und Pflanzen durch erhöhte Hitzebelastung

Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren

- Zunahme der Sterblichkeit von Nutztieren
- Abnahme der Fruchtbarkeit des Milchviehs
- Zunahme der Ertragseinbussen in der Tierproduktion
- Zunahme der Fischsterblichkeit
- Zunahme des Auftretens von Zoonosen
- Zunahme der Kosten für die Versorgung mit Trinkwasser

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
Zunehmende Trockenheit 	Abnahme der Energie- und Industrieproduktion
	• Einschränkung der Nutzung der thermischen Kraftwerke (inkl. Kernkraftwerke) • Abnahme der Kühlwasserkapazität von Fließgewässern für die industriellen Prozesse • Abnahme der Energieproduktion aufgrund eines tieferen Wirkungsgrads
	Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
	• Zunahme der Absterberate von Jungpflanzen durch Überhitzung der Bodenoberfläche • Zunahme des phytotoxischen Stresses durch hohe Ozonkonzentrationen in der Luft • Zunahme der Verbrennungen an Pflanzen durch Bewässerung
	Zunahme der Ertrageinbussen in der Forstwirtschaft
	• Zunahme der Absterberate von Jungpflanzen durch Überhitzung der Bodenoberfläche • Zunahme des phytotoxischen Stresses durch hohe Ozonkonzentrationen in der Luft
	Zunahme der Beeinträchtigung der Energie- und Transportinfrastruktur
	• Zunahme der Beeinträchtigung der Transportinfrastruktur • Zunahme der Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit des Stromnetzes
	● Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
	• Zunahme der Ernteeinbussen, Veränderung der Standorteignung • Abnahme der Infiltrationskapazität der Böden
	● Zunahme der Waldbrandgefahr
	• Abnahme der Schutzwirkung des Waldes • Abnahme der Holzerträge • Abnahme der CO₂-Speicherfunktion des Waldes • Abnahme der Erholungsleistung des Waldes • Zunahme der Schäden an Gebäuden und Infrastruktur
	● Zunahme der Wasserknappheit
	• Zunahme der Wassernutzungskonflikte • Zunahme der Knappheit von Brauchwasser • Zunahme der Knappheit von Trinkwasser
	● Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion
	• Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion
	● Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität
	• Zunahme der Verluste von Lebensräumen, die auf ausreichend Wasserversorgung angewiesen sind • Zunahme der Verluste von feuchteliebenden Arten
	Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen
	• Abnahme des Holznutzungspotenzials • Abnahme der Schutzwirkung des Waldes

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
	Abnahme der Transportkapazität bei eingeschränkter Schifffahrt - Abnahme der Transportkapazität aufgrund eingeschränkter Schifffahrt durch sinkende Wasserpegel (Rhein) - Zunahme der Beeinträchtigung der Seeanstossinfrastruktur durch sinkende Wasserspiegel Zunahme des Aufwands in der Trinkwasseraufbereitung - Zunahme des Aufwands in der Trinkwasseraufbereitung aufgrund beeinträchtigter Wasserqualität
Steigende Schneefallgrenze 	● Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus - Zunahme der Kosten für die Pistenbeschneigung - Abnahme der Dauer der Ski-Saison - Schliessung von tief liegenden Skigebieten - Abnahme der Anzahl Logiernächte aufgrund unsicherer Schneeverhältnisse - Abnahme der Anzahl Kunden für Seilbahnunternehmen - Abnahme der Motivation für Wintersport, wenn im Mittelland die Winterlandschaft fehlt ● Zunahme der winterlichen Energieproduktion - Zunahme der Wasserkraftproduktion - Zunahme der Energieausbeute bei der Wärmeproduktion aus Solarenergie - Zunahme der Solarenergieproduktion aufgrund abnehmender Dauer der Schneebedeckung ● Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten - Abnahme der Kosten für den Winterdienst - Abnahme der Kosten beim Strassenunterhalt - Abnahme der Lawinenschäden an Infrastrukturanlagen (inkl. ökonomische Einbussen) - Abnahme der Lawinenschäden an Gebäuden (inkl. ökonomische Einbussen) - Abnahme der Gebäude- und Infrastrukturschäden durch Schneedruck - Abnahme der Frostschäden an Bahninfrastruktur, Wasserleitungen und Gebäudeinfrastruktur - Abnahme der Frostschäden an Strassen - Abnahme der Frostschäden an Fahrzeugen ● Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume - Verschiebung der Verbreitungsgebiete nach Norden und in höhere Lagen (Entstehung von Reliktpopulationen) - Veränderung der Landschaft (Schneedecke, Gletscher, Waldgrenze) - Entstehung neuer Lebensräume im Vorfeld von sich zurückziehenden Gletschern Abnahme der schneebedingten Unfälle - Abnahme der Unfälle auf schneebedeckter Fahrbahn - Abnahme der Personenunfälle bei Schneesport-Aktivitäten

Farblegende

Risiko

Chance

Risiko und Chance

Herausforderung

Risiko/Chance

Steigendes Hochwasserrisiko



● **Zunahme der Personenschäden**

- Zunahme von Todesfällen, Verletzten und Unterstützungsbedürftigen
- Zunahme der Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit

● **Zunahme der Sachschäden**

- Zunahme der Schäden an Gebäuden (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an Kommunikationsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an Verkehrsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an Energieversorgungsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an der Wasserver- und -entsorgungsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an restlicher Infrastruktur (inkl. Hochwasserschutzbauten)
- Zunahme der Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Oberflächenwasser (inkl. ökonomische Einbussen)
- Zunahme der Schäden an Kulturgütern
- Zunahme der Schäden an Erholungsgebieten
- Zunahme der Schäden an Fahrzeugen
- Zunahme der Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Gletschertaschenausbrüche und Gletscherabbrüche (inkl. ökonomische Einbussen)

● **Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume**

- Zunahme der Entstehung von neuen Pionierstandorten

Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen und der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft

- Abnahme der Schutzwirkung des Waldes
- Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- Abnahme der Holzproduktion
- Abnahme der Bodenfruchtbarkeit wegen Auswaschung von Nährstoffen
- Verschmutzung der Böden wegen Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln und anderen giftigen Stoffen
- Abnahme des landwirtschaftlichen Potenzials wegen Erosion
- Abnahme der Erholungsleistung von Wald- und Grünflächen

Abnahme der Wasserkraftproduktion

- Einschränkungen der Wasserkraftnutzung
- Abnahme der Energieproduktion
- Zunahme der Schäden an Wasserkraftanlagen wegen erhöhten Geschiebetransportpotenzials und Schwebstoffzufuhr
- Verringerung der Speicherkapazität von Stauseen wegen zunehmender Geschiebe- und Sedimentablagerungen

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
	Abnahme der Wasserqualität • Abnahme der Wasserqualität bei Einleitung von Abwasser in unterdimensionierte Leitungsnetze und Rückhaltebecken • Verschmutzung wegen Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln oder anderen giftigen Stoffen • Verschmutzung von Trink- und Grundwasser wegen Auswaschung von abgebautem, organischem Material • Verschmutzung von Trinkwasserfassungen • Zunahme der Grundwasserverunreinigung • Abnahme der natürlichen Grundwasseranreicherung wegen Abflussverlusten
Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen 	● Zunahme der Personenschäden • Zunahme von Todesfällen, Verletzten und Unterstützungsbedürftigen • Zunahme der Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit ● Zunahme der Sachschäden • Zunahme der Schäden an Gebäuden (inkl. ökonomische Einbussen) • Zunahme der Schäden an Kommunikationsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen) • Zunahme der Schäden an Verkehrsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen) • Zunahme der Schäden an Energieversorgungsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen) • Zunahme der Schäden an Wasserver- und -entsorgungsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen) • Zunahme der Schäden an Fahrzeugen • Zunahme der Schäden an touristisch genutzten Gebäuden und Infrastruktur (und indirekte Schäden) • Zunahme der Schäden an Erholungsgebieten • Zunahme der Schäden an Infrastruktur der Wasserkraft • Abnahme der Speicherkapazität von Stauseen wegen zunehmender Geschiebe- und Sedimentablagerungen Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen und der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft • Abnahme der Schutzwirkung des Waldes • Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft • Abnahme der Holzproduktion • Abnahme der Bodenfruchtbarkeit • Abnahme der Erholungsleistung von Wald- und Grünflächen

Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität

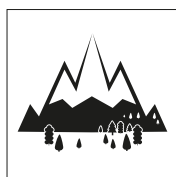


- **Zu- oder Abnahme der Personenschäden**
 - Zu- oder Abnahme der Anzahl Todesfälle, Verletzte und Unterstützungsbedürftige
- **Zu- oder Abnahme der Sturmschäden**
 - Zu- oder Abnahme der Schäden an Gebäuden (inkl. ökonomische Einbussen)
 - Zu- oder Abnahme der Schäden an Kommunikationsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)
 - Zu- oder Abnahme der Schäden an Verkehrsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
	• Zu- oder Abnahme der Schäden an Energieversorgungsinfrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen) • Zu- oder Abnahme der Schutzwirkung des Waldes und der daraus folgenden indirekten Schäden • Zu- oder Abnahme des Holznutzungspotenzials mit indirekter Auswirkung auf den Holzpreis • Zu- oder Abnahme der Kosten für Aufräumarbeiten im Wald, Schädlingsbekämpfung und Waldverjüngung • Zu- oder Abnahme der Senken- und Speicherfunktion von CO₂ auf Waldflächen • Zu- oder Abnahme der Filterleistung des Waldbodens mit Auswirkungen auf die Bereitstellung von Trinkwasser • Zu- oder Abnahme des Erosionsschutzes auf Waldflächen • Zu- oder Abnahme der Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen und an/in Gewächshäusern • Zu- oder Abnahme der Effizienz von Windkraftanlagen • Zu- oder Abnahme der Schäden an Fahrzeugen • Zu- oder Abnahme der Schäden an Erholungsgebieten (insbes. Wälder)
	● Zu- oder Abnahme der Hagelschäden • Zu- oder Abnahme der Schäden an Gebäuden (inkl. ökonomische Einbussen) • Zu- oder Abnahme der Schäden an Fahrzeugen • Zu- oder Abnahme der Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen und an/in Gewächshäusern • Zu- oder Abnahme der Schäden an Infrastruktur (inkl. ökonomische Einbussen)

Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft

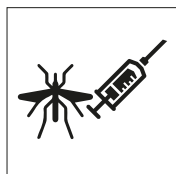


● Negative Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume
• Zeitliche oder räumliche Entkopplung von voneinander abhängigen Arten • Verschiebung der Verbreitungsgebiete nach Norden und in höhere Lagen (Entstehung von Reliktpopulationen) • Zunahme der Beeinträchtigung evolutiver Prozesse aufgrund von genetischer Verarmung durch Isolation und Verkleinerung von Lebensräumen • Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität durch weniger häufig auftretende Seezirkulation aufgrund von höheren Mitteltemperaturen • Zunahme der Beeinträchtigung der Bestäubung • Zunahme der Verluste von Arten, die aufgrund ihrer Frosttoleranz einen Konkurrenzvorteil haben • Zunahme der Beeinträchtigung von Arten, die einen Winterschlaf machen • Zunahme der Verluste von Lebensräumen, die auf ausreichend Wasserversorgung angewiesen sind • Zunahme der Verluste von feuchteliebenden Arten • Zunahme der Verdrängung von einheimischen Arten durch Auftreten und/oder Ausbreitung von gebietsfremden, invasiven Arten • Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität durch Ausbreitung von Schadorganismen • Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität aufgrund reduzierter Wasserqualität • Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität aufgrund reduzierter Bodenqualität • Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität aufgrund reduzierter Luftqualität • Zunahme der Beeinträchtigung von Tieren und Pflanzen durch erhöhte Hitzebelastung

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

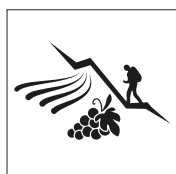
Herausforderung	Risiko/Chance
	● Positive Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume • Ausbreitung von anpassungsfähigen Arten und von Generalisten • Zunahme der Entstehung von neuen Pionierstandorten nach Hochwassern • Ausbreitung von Arten, die auf Trockenstandorte angewiesen sind • Zunahme der Artenvielfalt aufgrund von vermehrten Waldbränden • Entstehung neuer Lebensräume im Vorfeld von sich zurückziehenden Gletschern • Zunahme der Anzahl Generationen pro Jahr aufgrund längerer Vegetationsperiode - Veränderung der Attraktivität der Landschaft • Veränderung der Landschaft (Schneedecke, Gletscher, Waldgrenze) • Zunahme des Attraktivitätsverlusts der Aktivitäten im Gebirge infolge häufigerer Naturgefahrenereignisse

Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten



- **Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit**
 - Verlängerung der Pollensaison allergener Pflanzen
 - Zunahme der Ausbreitung von Zecken in höhere Lagen
 - Zunahme des Auftretens von Vektorkrankheiten sowie durch Wasser und Nahrungsmittel übertragene Krankheiten
 - Zunahme der Verbreitung allergener Pflanzen
 - Zunahme des Auftretens von Krankheiten, die aus Feuchtgebieten stammen
- **Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren**
 - Zunahme der Beeinträchtigungen der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren
- **Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft**
 - Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft
- **Zunahme der Beeinträchtigung von Waldleistungen**
 - Abnahme der Schutzwirkung des Waldes
 - Abnahme des Holznutzungspotenzials
- **Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität**
 - Zunahme der Verdrängung von einheimischen Arten durch Auftreten und/oder Ausbreitung von gebietsfremden, invasiven Arten
 - Zunahme der Beeinträchtigung der Biodiversität durch Ausbreitung von Schadorganismen

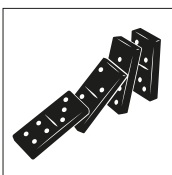
Verbesserung von Standortbedingungen



- **Abnahme des Heizenergiebedarfs**
 - Abnahme des Heizenergiebedarfs aufgrund des Anstiegs der Mitteltemperatur
- **Zunahme der Erträge im Sommertourismus**
 - Zunahme des Sommertourismus infolge weniger Regentage, höherer Temperaturen und längerer Saison
 - Zunahme der Attraktivität der Bergregionen aufgrund der tieferen Temperaturen
 - Mediterranisierung des Klimas
 - Zunahme der Attraktivität von Seenregionen während Hitzewellen
 - (Positive oder negative) Veränderung der Attraktivität der Landschaft

Farblegende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
	● Zunahme der Erträge in der Landwirtschaft • Positive Veränderung der Standorteignung, Möglichkeit zum Anbau von neuen Sorten (z. B. im Weinbau) • Zunahme der Ernteerträge in der Landwirtschaft aufgrund des Anstiegs der Mitteltemperatur • Zunahme der Biomassenverfügbarkeit (Energie) ● Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume • Veränderung der Landschaft (Schneedecke, Gletscher, Waldgrenze) • Entstehung neuer Lebensräume im Vorfeld von sich zurückziehenden Gletschern • Ausbreitung von anpassungsfähigen Arten und von Generalisten • Zunahme der Entstehung von neuen Pionierstandorten nach Hochwassern • Ausbreitung von Arten, die auf Trockenstandorte angewiesen sind • Zunahme der Artenvielfalt aufgrund von vermehrten Waldbränden Abnahme der Anzahl kältebedingter Krankheits- und Todesfälle • Abnahme der kältebedingten Mortalität aufgrund von Krankheiten, die im Winter häufiger auftreten • Abnahme der kältebedingten Morbidität aufgrund von Krankheiten, die im Winter häufiger auftreten • Abnahme/Zunahme der Frühsommer-Meningoenzephalitis (je nach Region) Zunahme des Holzzuwachses • Zunahme des Holznutzungspotenzials aufgrund des Anstiegs der Mitteltemperatur (verlängerte Vegetationsperiode) • Abnahme der Waldschäden durch Schneedruck
Wildcards	● Schwer abschätzbare Risiken • Erhebliche Auswirkungen auf die Biodiversität und/oder die Ökosystemleistungen aufgrund der Überschreitung von Kipp-Punkten von Ökosystemen • Erhebliche Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit aufgrund des Auftretens neuer, bisher unbekannter Krankheiten und neuer allergener Pflanzen • Erhebliche Beeinträchtigung der einheimischen Kulturen und der Tierproduktion wegen neuer Schadorganismen und der Ausbreitung neuer Krankheiten • Erhebliche Beeinträchtigung der Biodiversität durch neue invasive Arten • Erhebliche Waldschäden durch Ausbreitung neuer Schadorganismen und Krankheiten • Erhebliche Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen nach unerwartetem gleichzeitigem Ausfall mehrerer kritischer Infrastrukturen • Erhebliche Schäden aufgrund der kritischen Abfolge von verschiedenen Gefahren oder der aussergewöhnlichen Häufung einer gleichen Gefahr • Erhebliche Schäden aufgrund von Änderungen der Zirkulation bzw. von Wetterlagenmustern (z. B. Persistenz) • Erhebliche Schäden aufgrund von noch nicht abschätzbaren Effekten der Wirkungsketten Klimawandel-Naturgefahren (u. a. auch neue Prozessmuster) • Erhebliche Schäden aufgrund von Veränderungen des Regenerationspotenzials von durch Naturgefahrenprozesse betroffenen Gebieten



Farblgende	Risiko
	Chance
	Risiko und Chance

Herausforderung	Risiko/Chance
-----------------	---------------

Klimabedingte Auswirkungen im Ausland



● Indirekte Risiken

- Zunahme der Ertragseinbussen wegen gefährdeter Exporte in klimaexponierte Länder mit verringertem Wirtschaftswachstum
- Abnahme der Versorgungssicherheit wegen gefährdeter Importe aus klimaexponierten Ländern (z. B. Nahrung, Futtermittel, Energie, Grundmaterialien)
- Zunahme der Transportkosten aufgrund von klimabedingten Zerstörungen von Infrastruktur
- Abnahme der Produktivität ausländischer land- und forstwirtschaftlicher Systeme mit Auswirkungen insbesondere auf die Lebensmittel-, Textil-, Holz- und Papierindustrie
- Zunahme der Nachfrage nach Kapital aufgrund von Anpassungs- und Mitigationsmassnahmen
- Abnahme der politischen Stabilität und der internationalen Sicherheit
- Zunahme der positiven oder negativen Auswirkungen aufgrund von klimainduzierten globalen Migrationsströmen
- Zunahme der Nachfrage für Katastrophenhilfe (nach Extremereignissen) und Entwicklungszusammenarbeit
- Zunahme der Preisvolatilität landwirtschaftlicher Produkte
- Zunahme der Anlagerisiken bei klimaexponierten Investitionen

● Indirekte Chancen

- Zunahme der Erträge im Tourismus (Sommerfrische, relative Schneesicherheit)
- Zunahme der Nachfrage nach Rückversicherungsdienstleistungen
- Zunahme der Erträge aus exportierten, technischen und planerischen Massnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung
- Zunahme der Erträge von Schweizer Pumpwasserkraftwerken aufgrund der Ausgleichung der schwankenden Stromproduktion aus Wind- und Sonnenenergie im Ausland

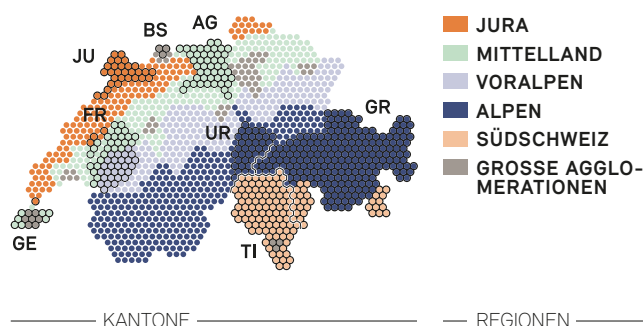
A2 Methodik

Parallel zur Erarbeitung der Anpassungsstrategie des Bundesrates hat das BAFU 2010 die Entwicklung einer Methode in Auftrag gegeben, mit der die klimabedingten Risiken und Chancen der Schweiz identifiziert, einheitlich bewertet und sektorübergreifend verglichen werden können. Aufgrund der vielfältigen Topografie und der Eigenheiten dicht besiedelter Räume wurden für die Risikoanalyse sechs Grossräume definiert und pro Grossraum ein bis zwei Fallstudien mit dieser Methode durchgeführt (Abb. 59).

Abbildung 59

Grossräume der Schweiz und Fallstudien

Jura (FS6), Mittelland (FS1 + FS3), Voralpen (FS3), Alpen (FS5 + FS8), Südschweiz (FS7) sowie grosse Agglomerationen (FS2 + FS4)



Grundlage für die vorliegende Synthese bilden die acht Fallstudien (FS1 – FS8)²⁷. Deren Resultate wurden in einem ersten Schritt auf die Grossräume übertragen. In einem zweiten Schritt wurden die identifizierten Risiken und Chancen unter Berücksichtigung von weiteren Kriterien priorisiert. Den Fallstudien und der darauf aufbauenden Synthese liegt damit ein einheitlicher, konsistenter methodischer Ansatz zugrunde.

Die in den Jahren 2010–2013 entwickelte Methodik zur Erarbeitung der Fallstudien (inklusive wichtiger Annahmen, Rahmenbedingungen und Arbeitsschritte) ist im Detail dokumentiert (Holthausen et al. 2013a). Im Verlauf der Durchführung der acht Fallstudien wurde die ursprünglich erarbeitete Methodik punktuell weiterentwickelt. Für die vorliegende Synthese wurden weitere Anpassungen

vorgenommen sowie ein geeignetes Verfahren zur Priorisierung angewendet. In diesem Kapitel werden die wichtigsten, auch für die Synthese relevanten Aspekte der ursprünglichen Methodik und die neuen methodischen Ansätze erläutert.

A2.1 Verwendung von Klimaszenarien

Um die mögliche Bandbreite der klimabedingten Auswirkungen aufzuzeigen, wurde in allen Fallstudien – analog der Strategie Anpassung an den Klimawandel²⁸ – von zwei Klimaszenarien ausgegangen. Das Szenario «Schwacher Klimawandel» entspricht dem Emissionsszenario RCP3PD, das Szenario «Starker Klimawandel» basiert auf dem Emissionsszenario A1B des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Die vorliegende Synthese berücksichtigt ausschliesslich das Szenario «Starker Klimawandel» und die in den Fallstudien daraus abgeleiteten Risiken und Chancen.

Das Emissionsszenario A1B geht davon aus, dass die globalen Emissionen bis 2050 unvermindert ansteigen (business as usual) und erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zurückgehen. Aufgrund aktueller Entwicklungen in der internationalen Klimapolitik und bei den globalen Treibhausgasemissionen kann dieses Szenario als realistisch bis pessimistisch eingeschätzt werden. Unter Federführung von MeteoSchweiz und der ETH Zürich wurde aus diesem Emissionsszenario ein Klimaszenario für die Schweiz (CH2011 2011) gerechnet. Dieses beschreibt die erwartete Entwicklung von Temperatur und Niederschlag pro Jahreszeit zwischen dem Durchschnitt der Periode 1980–2009 («heute») und der Periode 2045–2074 («2060») innerhalb von Bandbreiten, welche die Unsicherheiten der verwendeten Klimamodelle abbilden.

Für das Szenario «Starker Klimawandel» wurden nicht die mittleren Werte dieser Bandbreiten verwendet. Bei den Temperaturprojektionen wurden für alle Jahreszeiten die oberen Werte ausgewählt, für die Niederschlagsprojektionen für den Winter und Frühling die oberen Werte und für den Sommer und Herbst die unteren Werte. Das im Rahmen der Risikoanalyse verwendete Klimaszenario «Starker Klimawandel» beschreibt daher eine etwas

²⁷ Die Kürzel für die acht Fallstudien sind am Schluss von Kapitel 1 erläutert.

²⁸ Die beiden Szenarien sind in Kapitel 2 des Aktionsplans des Bundesrates (BAFU 2014a) beschrieben.

und Effekte zu Folgen führen können. Im Interesse einer systematischen und umfassenden Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen wurde pro Fallstudiengebiet eine Relevanzmatrix erstellt (Abb. 60).

Mithilfe der Relevanzmatrix können die relevanten Kombinationen, bei welchen sich Risiken oder Chancen ergeben, identifiziert und im Rahmen der Fallstudien vertieft analysiert werden (in Abb. 60 beispielhaft grau eingefärbt). Der Begriff Risiko beschreibt dabei das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass und der Begriff Chance das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Nutzen.

In den Fallstudien wurde jeweils das heutige Risiko bzw. die heutige Chance (Klimadaten 1980–2009, sozioökonomische Daten ca. 2010) sowie das Risiko bzw. die Chance für den Zeitraum um 2060 (Klimadaten 2045–2074, sozioökonomische Daten ca. 2010²⁹) bestimmt. Die Risiken und Chancen des Klimawandels, die sogenannten klimabedingten Risiken und Chancen, ergeben sich aus der Differenz des Risikos bzw. der Chance in der Periode 2060 und heute. Der vorliegende Synthesebericht bewert

²⁹ Weitere Angaben zur Berücksichtigung der sozioökonomischen Entwicklung bis 2060 vgl. Anhang A2.3.

tet Risiken bzw. Chancen stets anhand dieser Differenz. Ausnahme bilden die Risiken, die aus den Gefahren Sturm und Hagel entstehen. Aufgrund fehlender Klimaprojektionen für diese Gefahren wird in diesem Fall das heutige Risiko dargestellt.

Im Gegensatz zu den Fallstudien, wo die Risiken und Chancen pro Auswirkungsbereich (sektoriell) ausgewiesen wurden, lehnt sich die vorliegende Synthese stärker an die Strategie des Bundesrates an. Daher sind die Risiken und Chancen nach Herausforderung strukturiert. Die sektorübergreifenden Herausforderungen des Klimawandels sind im ersten Teil der Strategie (BAFU 2012b, vgl. Kapitel 2) beschrieben. Sechs Herausforderungen des Klimawandels wurden für die Synthese angepasst oder neu definiert, sodass alle identifizierten Risiken und Chancen einer Herausforderung zugeteilt werden können (vgl. Kapitel 2).

A2.3 Bewertung und Priorisierung von Risiken und Chancen

In den Fallstudien wurde, wo möglich, eine quantitative (monetarisierter) Abschätzung der Risiken und Chancen vorgenommen, ansonsten eine qualitative. In jeder Fallstudie wurden die Abschätzungen in einem Workshop

Tabelle 3

Die Herausforderungen des Klimawandels

Vorliegende Synthese	Anpassungsstrategie Bund (BAFU 2012b)
Grössere Hitzebelastung (Kap. 3)	Grössere Hitzebelastung in Städten und Agglomerationen
Zunehmende Trockenheit (Kap. 4)	Zunehmende Sommertrockenheit
Steigende Schneefallgrenze (Kap. 5)	Steigende Schneefallgrenze
Steigendes Hochwasserrisiko (Kap. 6)	Steigendes Hochwasserrisiko
Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen (Kap. 7)	Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen
Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität (Kap. 8)	[Nicht behandelt]
Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität (prioritäre Risiken sind den anderen Herausforderungen zugeordnet) (Kap. 9)	Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität
Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft (diskutiert werden alle Auswirkungen auf die Biodiversität, auch diejenigen anderer Herausforderungen) (Kap. 10)	Veränderung von Lebensräumen, Artenzusammensetzung und Landschaft
Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten (Kap. 11)	Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten
Verbesserung von Standortbedingungen (nur Chancen) (Kap. 12)	[Nicht behandelt]
Wildcards (Kap. 13)	[Nicht behandelt]
Klimabedingte Auswirkungen im Ausland (Kap. 14)	[Nicht behandelt]

durch Experten und Expertinnen plausibilisiert und in der Begutachtung des Schlussberichts überprüft. In einem nächsten Schritt wurden die Ergebnisse der Fallstudienregionen auf den entsprechenden Grossraum übertragen. Die Hochskalierung ist im Methodenbericht (Holthausen et al. 2013a) beschrieben.

Für die Synthese wurden die Resultate auf der Ebene der Grossräume und der Fallstudienregionen zusammengetragen. Bei einigen Naturgefahren wie Hochwasser und Massenbewegungen wurde das 100-jährliche Ereignis berücksichtigt, bei langsamen Entwicklungen wie der Veränderung der Mitteltemperatur und des Abflussregimes der jährliche Erwartungswert. Zusätzlich wurden eine Literaturrecherche sowie Expertenbefragungen durchgeführt, um die Liste der Risiken und Chancen aus den Fallstudien zu ergänzen, sodass möglichst alle für die Schweiz relevanten Risiken und Chancen identifiziert sind. Daraus ergibt sich die umfassende Liste der klimabedingten Risiken und Chancen in Anhang A1.

Um die Resultate – über die verschiedenen Sektoren und Grossräume hinweg – vergleichen zu können, wurde eine dreistufige, qualitative Skala verwendet: geringe/moderate/bedeutende Zunahme des Risikos bzw. der Chance. Für die Überführung der quantitativen Bewertung der Risiken und Chancen in den Fallstudien auf die Ebene der Grossräume wurde die Skala dem jeweiligen Grossraum angepasst. Beispielsweise sind in den grossen Agglomerationen viel mehr Personen und Werte konzentriert als in den Voralpen. Wird in den Voralpen ein Risiko mit einem jährlichen Erwartungswert von über 15 Mio. CHF auf der dreistufigen Skala als bedeutend eingestuft, so muss dasselbe Risiko für die gleiche Einstufung in den grossen Agglomerationen einen jährlichen Erwartungswert von mindestens 100 Mio. CHF erreichen. Berücksichtigt das Risiko ein 100-jährliches Ereignis, werden die Schwellenwerte um den Faktor fünf erhöht.

Trotz einheitlicher Methodik der acht Fallstudien darf die Bewertung der einzelnen Risiken und Chancen nicht ohne Reflexion übernommen und verglichen werden. Einerseits wurde die Methode zwischen der Durchführung der ersten und letzten Fallstudie in einzelnen Aspekten weiterentwickelt. Andererseits waren unterschiedliche Personen an der Analyse beteiligt. Diese haben teilweise

verschiedene Datengrundlagen verwendet, unterschiedliche Annahmen getroffen und sich auf verschiedene Experteneinschätzungen abgestützt. Die dreistufige Skala sowie die Bewertung der einzelnen klimabedingten Risiken und Chancen auf dieser Skala wurden daher von den Fallstudienautoren und weiteren Experten und Expertinnen aus der Wissenschaft und der Verwaltung plausibilisiert und falls nötig angepasst (vgl. Anhang A2.4).

Im nächsten Schritt wurden die Risiken und Chancen priorisiert. Zu diesem Zweck wurde die qualitative Bewertung des klimabedingten Risikos bzw. der Chance mit fünf weiteren Kriterien ergänzt, die aber im Vergleich zur klimabedingten Veränderung (Gewichtungsfaktor von über 40 %) weniger stark gewichtet wurden.

Die Notwendigkeit, für die Priorisierung weitere Kriterien zu berücksichtigen, ergibt sich daraus, dass die gesellschaftliche Akzeptanz eines Risikos variieren kann und dass weitere Einflussfaktoren die klimabedingten Risiken und Chancen erhöhen oder reduzieren sowie die Umsetzung von entsprechenden Anpassungsmassnahmen beeinflussen können. In die Beurteilung flossen zusätzlich folgende Kriterien ein (gerundete Gewichtung in Klammern):

- die Irreversibilität eines potenziellen Schadens (20 %)
- die mögliche Betroffenheit kritischer Infrastrukturen (10 %)
- der Einfluss sozioökonomischer Veränderungen (10 %)
- potenzielle Interessenkonflikte oder Synergien (10 %)
- die Anpassungsfähigkeit des betroffenen Systems (10 %)

Irreversibilität eines potenziellen Schadens: Das Kriterium der Irreversibilität eines potenziellen Schadens ist nur für Risiken relevant. Es wurden drei Möglichkeiten unterschieden: Im Eintrittsfall kann der Schaden vollständig behoben (reversibel) / teilweise behoben / nicht behoben (irreversibel) werden.

Mögliche Betroffenheit kritischer Infrastrukturen: Auch dieses Kriterium macht ausschliesslich bei Risiken Sinn. Unterschieden wurde zwischen keine/vereinzelte/weitreichende zu erwartende Schäden an kritischen Infrastrukturen im Eintrittsfall. Die Bewertung des Risikos

anhand dieser ersten beiden Kriterien wurde von Fallstudienautoren und vom BAFU vorgenommen.

Einfluss sozioökonomischer Veränderungen: Dieses Kriterium ist für alle Risiken wie auch Chancen relevant und wurde in drei Abstufungen unterteilt. Die sozioökonomischen Entwicklungen können das Risiko oder die Chance um mehr als eine Grössenordnung / weniger als eine Grössenordnung / gar nicht erhöhen oder reduzieren. Für diese Einschätzung wurden die Ergebnisse aus den Fallstudien beigezogen, da in diesen Analysen die sozioökonomische Entwicklung, beispielsweise via Bevölkerungsszenarien, separat berücksichtigt wurde.

Potenzielle Interessenkonflikte oder Synergien: Auch dieses Kriterium ist sowohl für Risiken als auch Chancen relevant und wurde in fünf Abstufungen unterteilt. Die Bewertung von Interessenkonflikten und Synergien wurde aufgrund der Risiken bzw. Chancen und eventuell Anpassungsmassnahmen durch Fallstudienautoren und durch das BAFU in der folgenden Einstufung abgeschätzt:

- neue Interessenkonflikte und eine Verschärfung bestehender Interessenskonflikte
- eine Verschärfung bestehender, aber keine neuen Interessenkonflikte
- keine wesentliche Verschärfung bestehender Interessenkonflikte
- eine Entschärfung bestehender Interessenkonflikte oder neue Synergien
- eine wesentliche Entschärfung bestehender Interessenkonflikte oder neue wesentliche Synergien

Anpassungsfähigkeit des betroffenen Systems: Die Anpassungsfähigkeit wurde anhand von sechs Faktoren beurteilt. Grundlage für diese Einschätzung bildet eine eigenständige Forschungsarbeit im Auftrag des BAFU (Jörin et al. 2016). Es wurde untersucht, ob mögliche Barrieren bei der Anpassung an den Klimawandel im Bereich Wissen, Motivation, rechtliche Struktur, Technologie, Finanzen und institutionelle Struktur bestehen. Im Rahmen der Forschungsarbeit konnten die Experten und Expertinnen die Faktoren auf einer fünfstufigen Skala einschätzen. Für die Bewertung der Risiken im Rahmen der Synthese wurden jeweils zwei Skalaebenen zusam-

mengefasst, sodass eine dreistufige Skala (tief/mittel/hoch) resultierte.

Die Bewertung pro Risiko bzw. Chance anhand dieser zusätzlichen Kriterien wurde für die ganze Schweiz und damit auch für jeden Grossraum einheitlich vorgenommen. Die Bewertungen der Risiken und Chancen aufgrund des Klimawandels sowie aufgrund der weiteren Kriterien wurden aggregiert. Die abschliessende Einstufung als prioritäre bzw. nicht-prioritäre Risiken und Chancen erfolgte anhand eines festgelegten Schwellenwerts. Das Ergebnis – die Liste der prioritären Risiken – wurde von Experten und Expertinnen aus der Wissenschaft und der Verwaltung plausibilisiert und überprüft. Dies führte zu punktuellen Änderungen in der Priorisierung (unabhängig davon, ob der Schwellenwert unter-/überschritten wurde). Aus der umfassenden Liste der circa 50 klimabedingten Risiken und Chancen wurden 29 prioritäre Risiken und Chancen der Schweiz identifiziert.

Für die Bewertung der Risiken und Chancen aufgrund des Klimawandels und anhand der zusätzlichen Kriterien sowie für deren nachfolgende Priorisierung wurde ein einheitliches, systematisches und rezeptartiges Vorgehen gewählt. Die Bewertungen und Priorisierungen wurden von vielen Experten und Expertinnen überprüft und reflektiert, was wiederum zu Anpassungen führte. Daher entspricht das Resultat nicht mehr in allen Punkten diesem einheitlichen Vorgehen, liefert aber ein stimmiges, konsolidiertes Bild über die Risikolandschaft der Schweiz.

A2.4 Einbezug von Experten und Expertinnen

Wie in den vorangehenden Unterkapiteln erwähnt, bauten verschiedene Phasen des Vorbereitungs-, Analyse- und Syntheseprozesses auf dem breiten Einbezug von Experten und Expertinnen auf. Dies ist eine der Stärken der Risikoanalyse.

An der Erarbeitung der Fallstudien (inkl. des Prozesses der Übertragung der Fallstudienresultate auf die Grossräume) waren Experten und Expertinnen aus den kantonalen Verwaltungen, aber auch aus Wissenschaft und privaten Büros beteiligt. Diese wirkten an Workshops mit und wurden zur Klärung spezifischer, fachlicher Fragen konsultiert. Fachleute der Kantone und des Bundes und einzelne Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen

wurden in die Überprüfung der Schlussberichte einbezogen.

Auch an der Synthese waren zahlreiche Experten und Expertinnen beteiligt:

- In einem Workshop mit den Fallstudienautoren wurde die Bewertung der Risiken und Chancen auf Ebene der Grossräume plausibilisiert, um einen Vergleich unter den Grossräumen zu ermöglichen.
- Mittels Telefoninterviews mit Experten und Expertinnen von Bund, Kantonen und Versicherungen wurde einerseits die Vollständigkeit der Liste der Risiken und Chancen, andererseits die Bewertung der Risiken und Chancen (speziell auch die vorgenommenen Anpassungen am Workshop) überprüft.
- Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen gaben schriftlich Rückmeldung zur Vollständigkeit der Liste der Risiken und Chancen, deren Bewertung und der vorgenommenen Priorisierung.
- Fachleute des Bundes und zwei private Büros nahmen zum vorliegenden Bericht Stellung.
- Während der Erarbeitung der Synthese wurden einzelne Fachleute des Bundes, von ProClim sowie Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu spezifischen Fragestellungen, einzelnen Bewertungen und Priorisierungen von Risiken und Chancen angefragt.

Rund 360 Experten und Expertinnen brachten ihr Fachwissen in die Methodenentwicklung, die Fallstudien und die Synthese ein. 75 Personen waren bei der Erstellung des vorliegenden Berichts involviert. Knapp 290 weitere Experten und Expertinnen waren in die Erarbeitung der acht Fallstudien und der Methode einbezogen. Von den 360 Fachleuten vertreten rund 200 die öffentliche Hand (Bund, Kantone und Gemeinden), circa 50 die Wissenschaft und circa 110 Verbände, Unternehmen, Beratungs- und Ingenieurbüros. Alle beteiligten Experten und Expertinnen sind im Anhang A3 namentlich aufgeführt.

A2.5 Grenzen der verwendeten Methodik und der Aussagekraft der Ergebnisse

Aussagen zur Entwicklung komplexer Systeme über grössere Zeiträume sind zwangsläufig mit Unsicherheiten verbunden (vgl. Kapitel 15).

Aufgrund teilweise nicht verfügbarer Datengrundlagen oder ungenügenden Prozessverständnisses mussten in den Fallstudien vereinfachende, expertengestützte Annahmen getroffen werden. Auch unterscheiden sich die Fallstudiengebiete stark bezüglich Grösse und Homogenität, was sich auf die Robustheit der Ergebnisse auswirken kann. Je kleiner das Fallstudiengebiet, desto mehr ortsspezifische Daten und Einschätzungen konnten in die Abschätzung einfließen. Annahmen, Ungenauigkeiten, Ungewissheiten und Bewertungen wurden in den Fallstudienberichten transparent dargestellt. So können sie bei der Interpretation der Ergebnisse (auch für die Synthese) berücksichtigt und allenfalls bei neuen Erkenntnissen angepasst werden.

Ziel der Risikoanalyse ist die Bestimmung der klimabedingten Risiken bzw. Chancen. Daher wurde der Zustand heute mit einem Zustand um 2060 unter einem Szenario «Starker Klimawandel» bei gleicher sozioökonomischer Situation und ohne Umsetzung von Anpassungsmassnahmen verglichen. Die sozioökonomische Entwicklung (eines der zusätzlichen Kriterien, vgl. Anhang A2.3) wurde separat berücksichtigt. Sie kann ein Risiko oder eine Chance entscheidend verstärken oder vermindern und muss darum bei der Planung von Anpassungsmassnahmen berücksichtigt werden.

Mit dieser Risikoanalyse wurde nicht die Absicht verfolgt, den Einfluss der sozioökonomischen Veränderungen mit demjenigen der klimatischen zu vergleichen. Damit der heutige Anpassungsbedarf beurteilt werden kann, wurden Anpassungsmassnahmen – auch wenn sie sehr einfach umzusetzen sind – ausgeblendet. Einzig gewisse «autonome» Anpassungen – z. B. vermehrtes Bewässern mit einer bereits bestehenden Bewässerungsanlage – wurden berücksichtigt.

Für die Risikoanalyse wurden keine neuen Projektionen, zusätzliche Simulationen oder Impactstudien durchgeführt. Die Fallstudien und die Synthese liefern Ergebnisse abgeleitet aus vorhandenem Wissen aus der Literatur, verfügbaren Daten und Experteneinschätzungen.

Hauptergebnis der Risikoanalyse sind die klimabedingten Risiken und Chancen für den Zeitraum um das Jahr 2060. Die Auswirkungen des Klimawandels können jedoch zu

sehr unterschiedlichen Zeitpunkten ein handlungsrelevantes Ausmass erreichen. Die Verteilung der Risiken und Chancen hängt somit stark vom betrachteten Zeitpunkt ab. Dem ist bei der Interpretation der Ergebnisse Rechnung zu tragen.

Die Fallstudien und die Synthese erlauben es, die Risiken und Chancen vergleichen zu können, um daraus Prioritäten für die Anpassung abzuleiten. Für diesen Zweck genügt eine relativ grobe Betrachtung der Risiken und Chancen. Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Bewertung und Priorisierung von Risiken und Chancen. Der Handlungsbedarf sowie mögliche Massnahmen stehen nicht im Vordergrund. Für die Bewertung oder Planung von Massnahmen (z. B. im Kontext des Managements einer konkreten Naturgefahrensituation) bedarf es detaillierterer Abklärungen unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten.

A3 Verzeichnisse

A3.1 Experten

Nachfolgende Experten haben ihr Wissen und ihre Einschätzungen in die Risikoanalyse einfließen lassen. Die Autoren bedanken sich ganz herzlich für ihr Engagement.

Experten, welche zur vorliegenden Synthese (und teilweise auch zu den Fallstudien) beigetragen haben:
 Aschwanden Hugo (BAFU), Bachmann Andreas (BAFU), Bernasconi Angelo (IFEC ingegneria SA), Bezzola Gian Reto (BAFU), Billeter Regula (ZHAW), Binz Andreas (Kanton Freiburg), Brang Peter (WSL), Bresch David (Swiss Re), Bugmann Harald (WSL), Burkhardt Andrea (BAFU), Butterling Melanie (ARE), Croci-Maspoli Mischa (MeteoSchweiz), Eberli Josef (BAFU), Eichenberger Nicolas (Kanton Jura), Felder Daniel (BLW), Filliger Paul (BAFU), Fischer Andreas (MeteoSchweiz), Füssler Jürg (INFRAS), Gehrig Regula (MeteoSchweiz), Girard Céline (CSD), Gutzwiller Lukas (BFE), Haeberli Wilfried (Universität Zürich), Hama Michiko (MeteoSchweiz), Hauser Ruth (BVET), Hofmann Christine (BAFU), Hohmann Roland (BAFU), Holtausen Niels (EBP), Huggel Christian (Universität Zürich), Kläy Matthias (BAFU), Kleppek Sabine (BAFU), Kotlarski Sven (MeteoSchweiz), Kuchler Meinrad (WSL), Kuchli Christian (BAFU), Kull Christoph (OCCC),

Lattion Mireille (SECO), Lehmann Therese (Universität Bern), Locher Peter (EBP), Losey Stéphane (BAFU), Mani Peter (Geo7), Manser Rolf (BAFU), Martin David (SOFIES), Mini Luca (Egli Engineering AG), Müller Lea (Swiss Re), Müller Stephan (BAFU), Neu Urs (ProClim), Nötzli Jeanette (SLF), Piguet Etienne (Université de Neuchâtel), Plüss Therese (BAFU), Probst Thomas (BAFU), Reinhard Michael (BAFU), Rössli Martin (Swiss TPH), Rössler Ole (Universität Bern), Romang Hans (BAFU), Salzmann Nadine (Université de Fribourg), Sandri Arthur (BAFU), Scapozza Carlo (BAFU), Schächli Bettina (INFRAS), Schärpf Carolin (BAFU), Scherrer Simon (MeteoSchweiz), Schlumpf Christoph (SECO), Schmocker-Fackel Petra (BAFU), Schwierz Cornelia (MeteoSchweiz), Stähli Ruedi (BAFU), Stöckli Reto (MeteoSchweiz), Stöckli Sibylle (FiBL), Stöckli Veronica (Bergwelten 21 AG), Stockmann Reto (Gebäudeversicherung GR), Tschanz Karl (Kanton Zürich), Urbinello Damiano (BAG), Voehringer Frank (EPFL), Walther Gian-Reto (BAFU), Werner Christoph (BABS), Zahner Samuel (BAFU), Zoller Martina (BAFU), Zubler Elias (MeteoSchweiz)

Experten, welche zu den Fallstudien und/oder zur Entwicklung der Methodik beigetragen haben:

Abbet Pascal (Services industriels de Genève), Abderhalden Michele (Kanton Tessin), Abt Marianne (SECO), Aemisegger Silvan (Kanton Basel-Stadt), Aeschlimann David (Kanton Freiburg), Ambrosi Christian (SUPSI), Ammann Walter (GRF Davos), Ammann Markus (BAV), Amrein Dominik (Kanton Basel-Stadt), Andres Norina (WSL), Annen Beat (Kanton Uri), Antonucci Alessandro (SUPSI), Arnold Adi (ARE), Aubert Marie-Sophie (Kanton Genf), Aubron Daniel (Inddigo), Azzimonti Laura (SUPSI), Bader Stefan (MeteoSchweiz), Bader Simone (BABS), Baggi Stefano (IFEC ingegneria SA), Bal Bernard (Asters, Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie), Baltzer Philippe (Kanton Aargau), Barben Martin (BAFU), Barelli Ean (SBB), Barras Charles (Ticino Turismo), Barudoni Nicola (Ticino Sentieri), Bassi Giorgio (Kanton Tessin), Baumer Andrea (Ofima), Beck Rémy (Kanton Genf), Berlocher Florentin (Kanton Genf), Bernasconi Matteo (Kanton Tessin), Besomio Lorenzo (Kanton Tessin), Betschart Mario (INFRAS), Beuret Bernard (Fondation Rurale Interjurassienne), Beurret Bruno (Kanton Genf), Bigatto Marco (AIL), Blaser Lilian (EBP), Blumer Peter (Gebäudeversicherung des Kantons BS), Bondolfi Anahide (SOFIES), Bonetti

Pius (Andermatt), Bongard Nicolas (Kanton Genf), Borschung Serge (Kanton Freiburg), Bouvier Léo (Kanton Genf), Bouvier-Gallacchi Martine (Kanton Tessin), Bozzolo Dario (IFEC ingegneria SA), Braun-Fahrländer Charlotte (Swiss TPH / Universität Basel), Brelot Elodie (Groupe Rhône-Alpes sur les infrastructures de l'eau), Broggin Michele (AIL), Brulfert Guillaume (Air Rhône-Alpes), Brülhart Pierre (Kanton Jura), Bründl Michael (SLF), Brunner Peter (SVV), Brunot Gilles (Météo France), Bühler Ueli (Kanton Graubünden), Cadlolo Timo (Ticino Turismo), Caflisch Michael (Kanton Graubünden), Calonder Beat (Kanton Graubünden), Carattini Ivano (Kanton Tessin), Carrière Florent (Hélianthe), Carvajal Maria Inés (Kanton Aargau), Cattaneo Carlo (AIL), Caviezel Mevina (SBB), Ceschi Pier Angelo (SES), Chaix Christophe (Mission Développement Prospective), Chanel Michel (Syndicat Intercommunal d'énergie et de e-communication de l'Ain), Charpié-Pruvost Marion (Association Régionale de Coopération du Genevois), Charvet Elodie (Communauté de Communes du Genevois), Cheda Francesca (Kanton Freiburg), Christin Hubert (Haute-Savoie), Christinet Nadia (Canton VD), Ciani Andrea (IFEC ingegneria SA), Combe Guillaume (Conseil général de la Haute-Savoie), Conedera Marco (WSL), Cornaglia Laurent (Maneco), Crinari Christian (Kanton Tessin), Daniel Erdin (Schweizerischer Bauernverband), Darazs Olga (CSD), David Roland (Kanton Tessin), de Haan van der Weg Peter (EBP), De Siebenthal Yves (Services industriels de Genève), Degiorgi Paolo (BLW), Delabays Nicolas (Kanton Genf), Dematte Simona (Kantonspolizei BS), Deneuille Antoine (Haute-Savoie), Destinobles Réginald (Kanton Genf), Diallo Thierno (Université de Genève), Dietrich Eric (die Mobiliar), Domeniconi Raffaele (SSIGA/VSA), Duplan Sylvie (Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords), Egli Thomas (Egli Engineering AG), Egloff Urs (Kanton Aargau), Eichenberger Nicolas (Kanton Jura), Ernst Philipp (Kanton Uri), Eschmann Patrice (Kanton Jura), Eyer Willy (Kanton Freiburg), Faessler Jérôme (Université de Genève), Fähndrich David (EDJ), Fauvain Hervé (Kanton Genf), Fauvin Hervé (ARC Syndicat mixte), Fehr Remo (Kanton Graubünden), Feitknecht Adriano (Messeria Ramello), Feitknecht Ulrico (Federazione Ticinese produttori di latte), Feltscher Markus (Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen), Fernex Jeanne (CSD), Fernex Jean (Kanton Jura), Ferrari Loris (Kanton Tessin), Ferreti Sylvain (Kanton Genf), Fischli Mi-

chael (IFEC ingegneria SA), Flück Andreas (Kanton Basel-Stadt), Flury Stefan (Kanton Uri), Forni Diego (Kanton Tessin), Fournier Rémi (Office national des forêts France), Fouvy Patrick (Kanton Genf), Frei Christoph (MeteoSchweiz), Freiburghaus Matthias (SSIGA), Fuhrer Jürg (Agroscope), Furger Beat (Kanton Uri), Gaia Marco (MeteoSchweiz), Gambin Nolvenn (Kanton Jura), Gasser Hans (Kanton Graubünden), Gattoni Milko (ESI), Genini Sem (Unione Contadini Ticinese), Gerber Jacques (Kanton Jura), Gerber Basil (BAFU), Gerber-Schori Yolande (Kanton Freiburg), Gertsch Eva (BAFU), Ghidossi Patrizio (Ufficio coordinamento CMSC Ticino), Giochen Bearth (Kanton Graubünden), Girandier Bruno (Communauté de Communes du Pays de Gex), Giulliani Silvano (Schweizerischer Bauernverband), Goldstein Beat (BFE), Graf Andrea (SUPSI), Greminger Peter (BAFU), Grossniklaus Simon (Kanton Aargau), Grütter Marco (Schweizerischer Elementarschädenfonds), Guidi Valeria (LMA, SUPSI), Hannes Jenny (Kanton Graubünden), Hofmann Martin (Kanton Basel-Stadt), Hofstetter Marold (Ofima), Hohl Markus (BABS), Hussenot Vincent (Prioriterre Haute-Savoie), Infanger Remo (CKW), Jäger Sascha (Kraftwerk Birsfelden), Jann Marcel (Kanton Uri), Jermini Mauro (Agroscope), Joerin Christophe (Kanton Freiburg), Kern Theo (Aargauischer Walddwirtschaftsverband), Knechtle Philippe (Kanton Freiburg), Kohli Dominique (BLW), Kolb Daniel (Kanton Aargau), Kräuchi Norbert (Kanton Aargau), Kunz Pierre (Kanton Genf), Kuszli Charles-Antoine (Université de Genève), Lachat Jean-Paul (Kanton Jura), Lanfranchi Marco (Kanton Graubünden), Lavalley Catherine (Université de Lausanne), Lehmann David (CSD), Leuthard Werner (Kanton Aargau), Leuthold Rudolf (Kanton Graubünden), Lienert Christophe (Kanton Aargau), Linder Basso Daniela (Kanton Tessin), Liniger Mark (MeteoSchweiz), Linsbauer Andreas (GIUZ), Lötscher Hanspeter (Kanton Graubünden), Lötscher Andrea (Kanton Graubünden), Luminet Anne (RhönAlpEnergie Environnement), Lusti Hansueli (Schweizer Hagel), Luzi Valentin (Kanton Graubünden), Mameli Giampaolo (AIL), Margreth Stefan (SLF), Mariéthoz Tristan (Kanton Waadt), Mariniello Mario (Kanton Jura), Martignoni Agnese (IFEC ingegneria SA), Mathys Christian (Kanton Basel-Stadt), Meier Rolf (Kanton Aargau), Meier Thomas (Hardwasser AG), Mollier Sandra (Kanton Genf), Monico Cristina (Azienda Moncuccetto), Monin Grégoire (CSD), Monn Guido (Matterhorn Gotthard Bahn), Moradpour Eloïse (CSD), Morier Alain

(Kanton Aargau), Moser Mirco (Kanton Tessin), Moser Hans-Ruedi (Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft), Müller René (Kanton Aargau), Müller Matthias (Kanton Aargau), Murbach Franz (BFS), Murri Marcel (Kanton Aargau), Neher Robert (Kanton Basel-Stadt), Niffeler Urs (Gesundheitsversorgung AG), Notari Nicola (IFEC ingegneria SA), Overney Olivier (BAFU), Parlow Eberhard (Universität Basel), Pasquini François (Kanton Genf), Passardi Michele (Consavis SA), Patocchi Nicola (Fondazione Bolle di Magadino), Paupe Monique (ECA Jura), Pedrazzini Roberto (SBB), Perch-Nielsen Sabine (EBP), Peyer Marco (Kanton Aargau), Pfändler Sascha (IWB), Pitozzi Sandro (Kanton Tessin), Pourraz Cécile (Syndicat des énergies et de l'aménagement numérique de Haute-Savoie), Pozzoni Maurizio (SUPSI), Prina Alexandre (Kanton Genf), Pronini Roberto (AET), Püntener Richard (Kanton Uri), Pütz Marco (WSL), Quartenghi Stefano (CDV), Rampazzi Filippo (Museo cantonale di storia naturale), Randlett Marie-Eve (CSD), Re Lorenza (Kanton Tessin), Realini Giovanni (SBB), Reisner Yvonne (Kanton Basel-Stadt), Renaud Ewa (HEPIA), Rezzonico Francesco (Kanton Tessin), Riesen Fabian (AFF), Rivola Christian (RIBO architecture), Rivollet Marion (Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords), Rochefort Sophie (HEPIA), Rossini Corrado (AET), Rötheli Patrick (Kanton Aargau), Rummer Erik (IWB), Ruprecht-Martignoli Silvia (BAFU), Saha Dieter (Schweizerische Rheinhäfen), Salvetti Andrea (Kanton Tessin), Samson Eléonore (Conseil général de l'Ain), Scapozza Cristian (SUPSI), Scarselli Miriva (Kanton Basel-Stadt), Scerpella Fiorenzo (AET), Schädler Bruno (Universität Bern), Schaeffer Mirielle (Centre Régional de la Propriété Forestière de Rhône-Alpes), Schaltegger Ernst (InnovaBridge Foundation), Schär Christoph (ETHZ), Schaub Daniel (Kanton Aargau), Schaub Yvonne (GIUZ), Schmid David (Kanton Graubünden), Schönenberger Nicola (InnovaBridge Foundation), Schreiber Guido (Kanton Uri), Schwager Franziska (Kanton Basel-Stadt), Soldini Camilla (Kanton Tessin), Sommer Markus (Kanton Basel-Stadt), Spycher Boris (Kanton Graubünden), Stadler Andrea (Kanton Graubünden), Stal Marc (GRF Davos), Stefanoto Sabine (Kanton Genf), Steiner Thomas (Union fribourgeoise du tourisme), Studer Stéphane (CSD), Sturzenegger Daniel (Egli Engineering AG), Svoboda Paul (Kanton Basel-Stadt), Szerb Peter (Rhônaplénergie-Environnement), Tallon Léa (CSD), Tarrelli Marco (Gemeinde Altdorf), Thadikkaran-Salomon

Lynne (Kanton Genf), Thali Urs (Ingenieurbüro Göschenen), Thalmann Philippe (EPFL), Thomann Georg (Kanton Graubünden), Togni Mauro (Kanton Tessin), Tonolla Mauro (Laboratorio di microbiologia applicata), Tufan Ural (Gesundheitsdienst BS), Ulrich Alois (Kanton Uri), Valsangiacomo Claudio (SUPSI), Vanomsen Pierre (Egli Engineering AG), Vares Sylvie (Association Régionale de Coopération du Genevois), Veronesi Mauro (Kanton Tessin), Villard Hervé (Kanton Genf), von Greyerz Salomé (BAG), Walker Alexander (Kanton Uri), Walker Raimund (Kanton Uri), Wehrli André (DEZA), Weibel Martin (Alpiq), Weingardt Frank (AGV), Weirich Nicolas (Chambre d'agriculture de Haute-Savoie), Wider Jérôme (BAFU), Wilhelm Christian (Kanton Graubünden), Willi Christina (EBP), Wokaun Alexander (Paul-Scherrer-Institut), Wüthrich Christian (Kanton Uri), Wüthrich Martin (SVV), Zaffalon Marco (SUPSI), Zappa Massimiliano (WSL), Zraggen Sonja (Kanton Uri), Zimmermann Niklaus (WSL), Zinder Rémy (Kanton Genf), Zufferey Vivian (Agroscope), Zwissig Josef (Gemeinde Seelisberg).

A3.2 Literatur

Fallstudien

FS1 (Fallstudie 1)

Holthausen N., Locher P., Blaser L., Pütz M., Bründl M. 2013: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Ergebnisbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikon: 67 S.

FS2 (Fallstudie 2)

Füssler J., Betschart M., Schächli B., Egli T., Mini L. 2015: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz: Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich: 167 S.

FS3 (Fallstudie 3)

Locher P., Holthausen N., Wili C., Girard C., Tallon L., Darazs O., Lerch J. 2015: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Freiburg. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikon: 193 S.

FS4 (Fallstudie 4)

Füssler J., Schächli B., Betschart M., Martin D., Bondolfi A., Aubron D., Mini L., Egli T. 2015: Analyse des risques et

opportunités liés aux changements climatiques en Suisse. Etude de cas Canton Genève et Grand-Genève. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Genf: 225 S.

FS5 (Fallstudie 5)

Stöckli V., Ammann W. 2015: Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 einer kantonalen Klimastrategie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Chur: 142 S.

FS6 (Fallstudie 6)

Girard C., Monin G., Lehmann D., Moradpour É., Fernex J., Randlett M.-É., Studer S. 2016: Analyse des risques et opportunités liés aux changements climatiques en Suisse. Étude de cas du canton du Jura. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Pruntrut: 167 S.

FS7 (Fallstudie 7)

Bernasconi A., Bozzolo D., Baggi S., Ciani A., Martignoni A., Notari N., Fischli M., Stöckli V., Schönenberger N., Schaltegger E., Passardi M., Rivola C. 2016: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Fallstudie Kanton Tessin. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Rivera: 416 S.

FS8 (Fallstudie 8)

Füssler J., Betschart M., Schäppi B., Egli T., Vanomsen P., Sturzenegger D., Mini L. 2015: Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich: 311 S.

Weitere Literatur

Aargauer Zeitung 2015: Die Lage bleibt trotz Regen kritisch. Fischsterben wegen Trockenheit.

Internet: www.aargauerzeitung.ch/aargau/freiamt/fischsterben-wegen-trockenheit-die-lage-bleibt-kritisch-129455240. Abgerufen am 01.07.2016.

Abegg B. 2012: Natürliche und technische Schneesicherheit in einer wärmeren Zukunft. In: Forum für Wissen 2012 (Hrsg. WSL): S. 29 – 35.

Adelphi, PRC, Eurac 2015: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau: 688 S.

Agroscope 2014: Die Kirschessigfliege im Beeren-, Obst- und Weinbau. Faktenblatt: 2 S.

AGV (Aargauische Gebäudeversicherung) 2011: Geschäftsbericht. Aarau: 91 S.

Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016a: Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11 (5), Bern: 218 S.

Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016b: Ozon und Sommersmog. Klimawandel gefährdet heutige Erfolge. Swiss Academies Factsheet 11 (5): 6 S.

Allergiezentrum Schweiz 2016: Pollenprognose.

Internet: www.pollenundallergie.ch/infos-zu-pollen-und-allergien/polleninformationen/pollenprognose/?oid=1828&lang=de. Abgerufen am 21.11.2016.

Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. 2006: Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport INRA, Frankreich: 72 S.

Anderson H.R., Derwent D., Stedman J., Hayman G. 2008: The Health Impact of Climate Change due to Changes in Air Pollution. In: Health Effects of Climate Change in the UK. An Update of the Department of Health Report 2001/2002. Department of Health/Health Protection Agency, London: S. 91 – 105.

BABS (Bundesamt für Bevölkerungsschutz) 2015a: Nationale Gefährdungsanalyse – Gefährdungsdossier Trockenheit, Bern: 12 S.

Badoux A., Andres N., Techel F., Hegg C. 2016: Natural hazard fatalities in Switzerland from 1946 to 2015. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16: S. 2747 – 2768.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2017a: Naturgefahren. Technische Massnahmen.

Internet: www.bafu.admin.ch/technische-massnahmen. Abgerufen am 30.05.2017.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2017b: Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020). Bern: 21 S.

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

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2016a: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2016b: Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Umwelt-Zustand Nr. 1629, Bern: 110 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2016c: Gefährliche Schadorganismen für den Wald.
Internet: www.bafu.admin.ch/schadorganismen-wald. Abgerufen am 29.08.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2016d: Invasive gebietsfremde Arten. Böse Überraschungen vermeiden.
Internet: www.bafu.admin.ch/magazin2016-4-08. Abgerufen am 26.06.2017.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2016e: Karten der Sturmgefährdung.
Internet: www.bafu.admin.ch/karten-sturmgefaehrung. Abgerufen am 19.10.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015a: Hochwasser und Murgang. Faktenblätter Gefahrenprozesse: 2 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015b: Luftschadstoffquellen.
Internet: www.bafu.admin.ch/luftschadstoffquellen. Abgerufen am 21.11.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015c: Wald und Holz. Das Wichtigste in Kürze.
Internet: www.bafu.admin.ch/wald-inkuerze. Abgerufen am 16.11.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015d: Smaragd-Gebiete.
Internet: www.bafu.admin.ch/smaragd. Abgerufen am 12.07.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015e: Zustand der Lebensräume in der Schweiz.
Internet: www.bafu.admin.ch/lebensraeume. Abgerufen am 12.07.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2015f: Indikator. Waldfläche.
Internet: www.bafu.admin.ch/indikatoren-wald. Abgerufen am 16.11.2016.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2014a: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014, Bern: 100 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2014b: Luftverschmutzung und Gesundheit. Übersicht zu den Auswirkungen. Umwelt-Wissen Nr. 1425, Bern: 15 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2014c: Wald und Klimawandel. Vielfalt ist die beste Versicherung.
Internet: www.bafu.admin.ch/wald-klimawandel. Abgerufen am 16.06.2016.

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

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

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2012b: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012, Bern: 64 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2012c: Kurzporträt Strategie Biodiversität Schweiz. Gemeinsam die Vielfalt des Lebens erhalten und nachhaltig nutzen, Bern: 2 S.

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

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2011: Indikatoren für Ökosystemleistungen. Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung, Bern: 108 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) 2006: Gebietsfremde Arten in der Schweiz. Eine Übersicht über gebietsfremde Arten und ihre Bedrohung für die biologische Vielfalt und die Wirtschaft in der Schweiz, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 0629: 154 S.

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

BAG (Bundesamt für Gesundheit) 2012: Lebensmittelbedingte Gruppenerkrankungen in der Schweiz. Aktuelle Statistiken, zukünftige Entwicklungen, praktische Anleitungen für die Abklärung von Ausbrüchen und historischer Rückblick: Bern, 83 S.

BAG, BAFU (Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt) 2016: Schutz bei Hitzewelle. Empfehlungen und Informationen für Fachpersonen, Bern: 2 S.

BAG, BAFU (Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt) 2007: Schutz bei Hitzewelle. Klimaänderung: Auswirkungen auf die Gesundheit: 2 S.

Internet: <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/nat-gesundheitspolitik/klimawandel/hitzewelle/hintergrundinfos/info-klimaaenderung/klimawandel-auswirkungen-gesundheit.pdf.download.pdf/klimaaenderung-auswirkungen-auf-gesundheit.pdf>. Abgerufen am 30.05.2017.

Ballester J., Rodó X., Robine J.-M., Richard Herrmann F. 2016: European seasonal mortality and influenza incidence due to winter temperature variability. In: *Nature Climate Change*, Volume 6: S. 927 – 930.

Ban N., Schmidli J., Schär C. 2015: Heavy precipitation in a changing climate: does short-term summer precipitation increase faster? In: *Geophysical Research Letters* 42: S. 1 – 8.

Bauder A., Funk M., Huss M. 2007: Ice-volume changes of selected glaciers in the Swiss Alps since the end of the 19th century. In: *Ann. Glaciol.* 46: S. 145 – 149.

Beniston M. 2012: Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps. In: *Journal of Hydrology* 412/413: S. 291 – 296.

Bergamin F. 2011: Kontroverse um das Artensterben. Wissenschaftler bezeichnen Voraussagen von Aussterberatern als zu hoch. In: *NZZ Online*.

Internet: https://www.nzz.ch/kontroverse_um_das_artensterben-1.10693163. Abgerufen am 14.06.2017.

BFE (Bundesamt für Energie) 2015a: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2015, Bern: 62 S.

BFE (Bundesamt für Energie) 2015b: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2014 nach Verwendungszwecken, Bern: 73 S.

BFS (Bundesamt für Statistik) 2016: Landwirtschaft und Ernährung. Taschenstatistik 2016. Statistik der Schweiz – 07 Land und Forstwirtschaft, Neuenburg: 35 S.

BFS (Bundesamt für Statistik) 2006: Die Landwirtschaft in den Kantonen. Ergebnisse der regionalen Gesamtrechnungen 2005, Neuenburg: 40 S.

Bircher N., Cailleret M., Huber M., Bugmann H. 2015: Empfindlichkeit typischer Schweizer Waldbestände auf den Klimawandel. In: *Journal forestier suisse* 6/2015, Zürich: S. 408 – 419.

Björnsen Gurung A., Stähli M. 2014: Wasserressourcen der Schweiz. Dargebot und Nutzung – heute und mor-

gen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern: 69 S.

Blanc P., Schädler B. 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission, Bern: 28 S.

BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen) 2016: Proliferative Nierenkrankheit der Fische. Internet: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/tiere/tierseuchen/uebersicht-seuchen/alle-tierseuchen/proliferative-nierenkrankheit-der-fische.html>. Abgerufen am 12.07.2016.

BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen) 2013: Blauzungenkrankheit (Bluetongue, BT): 3 S.

BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) 2011: Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, Bern: 46 S.

Bresch D. 2016: Wie uns der Klimawandel (in)direkt betrifft. Zukunftsblog ETH Zürich. Publiziert am 28.10.2016. Internet: <https://www.ethz.ch/content/main/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2016/10/wie-uns-der-klimawandel-indirekt-betrifft.html>. Abgerufen am 26.05.2017.

BRP, BWB, BUWAL (Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Reihe Naturgefahren, Bern: 42 S.

Brunner C.U., Steinemann U., Nipkow J. 2008: Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Empfehlung Nachhaltiges Bauen 2008/2. Hrsg. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB), Amt für Wasser, Abfall, Energie und Luft (AWEL) Kanton Zürich, Umwelt und Gesundheitsschutz (UGZ) Stadt Zürich: 8 S.

Buser C. 2007: Wild Cards und Raumplanung. swissfuture Schweizerische Vereinigung für Zukunftsforschung, 02/07: S. 20 – 23.

BUWAL, BWG, MeteoSchweiz (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bern: 174 S.

Bux K. 2006: Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse. Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Hrsg. Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin/Dresden: 33 S.

BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie) 2004: Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S. Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Entwurf, Zollikofen: 44 S.

BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie) 2001: Hochwasserschutz an Fließgewässern. Wegleitung des BWG, Biel: 72 S.

BWL (Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung) 2016: Bericht zur wirtschaftlichen Landesversorgung 2013 – 2016, Bern: 44 S.

BWW, BRP, BUWAL (Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Reihe Naturgefahren, Bern: 32 S.

Cerutti B., Tereanu C., Domenighetti G., Gaia M., Bolgiani I., Lazzaro M., Cassis I. 2004: Canicola, mortalità e interventi di pronto soccorso durante l'estate 2003 in Ticino. In: Tribuna medica ticinese, Mezzovico: S. 363 – 367.

CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Veröffentlicht durch C2SM, MeteoSchweiz, ETH Zürich, NCCR Climate & OcCC, Zürich: 88 S.

CH2014-Impacts 2014: Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, veröffentlicht durch OCCR, BAFU, MeteoSchweiz, C2SM, Agroscope & ProClim, Bern: 136 S.

Chaix O., Whese H., Gander Y., Zahner S. 2016: Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trocken-

heit. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 165 S.

Chmielewski F.-M. 2007: Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin: S. 75 – 85.

Conedera M., Cesti G., Pezzatti G.B., Zumbrennen T., Spinedi F. 2006: Lightning-induced fire in the Alpine region. An increasing problem. Hrsg. Viegas, D.X., V International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, Portugal: 9 S.

Conedera M., Pezzatti G.B. 2005: Gli incendi di bosco. Cosa ci dice la statistica. In: Dati statistiche e società 1-2005, Lugano: S. 6 – 13.

DEFRA 2012a: Climate Change Risk Assessment for the Business, Industry and Services Sector: 182 S. Internet: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRAfortheBusiness,IndustryandServicesSector.pdf>. Abgerufen am 30.05.2017.

DEFRA 2012b: Climate Change Risk Assessment. Built Environment. Summary Report: 4 S. Internet: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRASummaryBuiltEnvironment.pdf>. Abgerufen am 30.05.2017.

DEFRA 2012c: Climate Change Risk Assessment for the Health Sector: 240 S. Internet: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRAfortheHealthSector.pdf>. Abgerufen am 30.05.2017.

Dousset B., Gourmelon F., Laaidi K., Zeghnoun A., Giraudet E., Bretin P., Mauri E., Vandentorren S. 2011: Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. In: International Journal of Climatology, 31(2): S. 313 – 323.

Dübendorfer C., Tratschin R., Urfer D., Zahner S., Zysset A. 2016: Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Was-

serknappheit in der Schweiz. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikon/Pruntrut: 106 S.

Dübendorfer C., Moser D., Kempter T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Kirchhofer A., Baumann P. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikon: 83 S.

Eawag 2016: Blaualgenblüten der vergangenen 200 Jahre rekonstruiert.

Internet: www.eawag.ch/de/news-agenda/news-plattform/news/news/blau-algen-blueten-der-vergangenen-200-jahre-rekonstruiert/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=db4568bfceec5b54546279a6a749cd67. Abgerufen am 26.06.2017.

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) 2012: The climatic suitability for dengue transmission in continental Europe. Technical report, Stockholm: 22 S.

EFBS (Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit) 2013: Umgang mit Schadorganismen von Pflanzen in geschlossenen Systemen – Ein internationaler Vergleich, Bern: 78 S.

Eis D., Helm D., Laußmann D., Stark K. 2010: Klimawandel und Gesundheit. Ein Sachstandsbericht. Hrsg. Robert Koch Institut, Berlin: 246 S.

EKL (Eidgenössische Kommission für Lufthygiene) 2004: Sommersmog, Bern: 24 S.

EPDS, BLW, BAFU (Eidgenössischer Pflanzenschutzdienst, Bundesamt für Landwirtschaft, Bundesamt für Umwelt) 2015: Faktenblatt Kastanienrindenkrebs: 2 S.

EUA (Europäische Umweltagentur) 2017: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, Kopenhagen: 419 S.

EUA (Europäische Umweltagentur) 2016: European forest ecosystems. State and trends, Kopenhagen: 123 S.

-
- EUA (Europäische Umweltagentur) 2013: Klimawandel und Luft. Unser Klima verändert sich, Kopenhagen: 12 S.
- EUA (Europäische Umweltagentur) 2012a: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report, Kopenhagen: 300 S.
- EUA (Europäische Umweltagentur) 2012b: Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies, Kopenhagen: 143 S.
- Europäische Kommission 2011: Boden. Der verborgene Teil des Klimazyklus, Luxemburg: 20 S.
- Faust A.-K., Gonseth C., Vielle M. 2011: Modélisation de l'adaptation aux changements climatiques dans un modèle économique intégré. Rapport final. Groupe de Recherche en Economie et Management de l'Environnement. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Lausanne: 158 S.
- Filippini M., Geissmann T. 2014: Kostenstruktur und Kosteneffizienz der Schweizer Wasserkraft. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE), Zürich: 84 S.
- Fischer K., Dierks A., Franke K., Geister T.L., Liszka M., Winter S., Pflücke C. 2010: Environmental Effects on Temperature Stress Resistance in the Tropical Butterfly *Bicyclus Anynana*. In: PLoS ONE, Volume 5, Issue 12: e15284.
- Forster B., Castellazzi T., Colombi L., Fürst E., Marazzi C., Meier F., Tettamanti G., Moretti G. 2009: Die Edelkastaniengallwespe *Dryocosmus kuriphilus* (Yasumatsu) (Hymenoptera, Cynipidae) tritt erstmals in der Südschweiz auf. In: Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, Band 82: S. 271 – 279.
- Forum Biodiversität Schweiz 2013: Biodiversität in den Alpen. In: Hotspot. Forschung und Praxis im Dialog. Informationen des Forum Biodiversität Schweiz 27, Bern: 28 S.
- Freier B., Triltsch H. 1996: Climate chamber experiments and computer simulations on the influence of increasing temperature on wheat-aphid-predator interactions. In: Aspects Appl Biol 45: S. 293 – 298.
- FS1 – FS8 (Fallstudie 1 – Fallstudie 8): siehe vollständige Quellenangaben zu Beginn des Literaturverzeichnisses
- Fuhrer J., Calanca P. 2012: Klimawandel beeinflusst das Tierwohl bei Milchkühen. In: Agrarforschung Schweiz 3(3), Zürich: S. 132 – 139.
- Fuhrer J. 2010: Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Abschlussbericht, 8. März 2010. Im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und der Kantone BE, LU, FR, AG, VD, VS, GE und ZH, Reckenholz-Tänikon: 26 S.
- Fuhrer J., Jasper K. 2009: Bewässerungsbedürftigkeit in der Schweiz. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und der Kantone BE, LU, FR, AG, VD, VS, GE und ZH, Reckenholz-Tänikon: 74 S.
- Füssler J., Betschart M., Egli T., Mini L. 2015: Klima, Gefahren und Effekte. Herleitungen für die Agglomerationsfallstudien. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich: 76 S.
- Gasparrini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., Tobias A., Tong S., Rocklöv J., Forsberg B., Leone M., De Sario M., Bell M. L., Leon Guo Y.-L., Wu C.-F., Kan H., Yi S.-M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M., Hilario Nascimento Saldiva P., Honda Y., Kim H., Armstrong B. 2015: Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. In: The Lancet, Volume 386, No. 9991: S. 369 – 375.
- Genier Y. 2016: Stations de ski: celles qui s'en sortent, celles qui plongent. L'Hebdo vom 18.02.2016. Internet: www.hebdo.ch/hebdo/cadrages/detail/stations-de-ski-celles-qui-s%E2%80%99en-sortent-celles-qui-plongent. Abgerufen am 01.06.2016.
- Geo7 2012: Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 2: Resultate. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 85 S.
- Gillioz V. 2016: Tourisme de montagne. Des pistes pour s'adapter au changement climatique. In: Montagna 3/2016: S. 8 – 9.

- Giorgi F., Torma C., Coppola E., Ban N., Schär C., Somot S. 2016: Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming. In: *Nature Geoscience*, Vol. 9(8): S. 584 – 589.
- Gonseth C., Thalmann P., Vielle M. 2017: Impacts of global warming for energy use for heating and cooling with full rebound effects in Switzerland. In: *Swiss Journal of Economics and Statistics*. Elsevier 2017: 27 S.
- Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fahrländer C. 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. In: *Swiss Medical Weekly* 135(13 – 14): S. 200 – 205.
- Gruner U. 2008: Klimatische und meteorologische Einflüsse auf Sturzprozesse. In: *Proceed. Conf. Interprävent 2008*, 2: S. 147 – 158.
- Hajat S., Kovats R.S., Atkinson R.W., Haines A. 2002: Impact of hot temperatures on death in London. A time series approach. In: *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 56: S. 367 – 372.
- Hamaoui-Laguel L., Vautard R., Liu L., Solmon F., Viovy N., Khvorostyanov D., Essl F., Chuine I., Colette A., Semenov M.A., Schaffhauser A., Storkey J., Thibaudon M., Epstein M.M. 2015: Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. In: *Nature Climate Change*, Vol. 5: S. 766 – 771.
- Hänggi P. 2011: Auswirkungen der hydroklimatischen Variabilität auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Geographisches Institut der Universität Bern: 231 S.
- Hegg C., Jeisy M., Waldner P. 2004: Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Hrsg. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 60 S.
- Hilker N., Badoux A., Hegg C. 2009: The Swiss flood and landslide damage database 1972 – 2007. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9: S. 913 – 925.
- Holthausen N., Locher P., Blaser L., Perch-Nielsen S., de Haan van der Weg P., Pütz M., Bründl M. 2013a: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz. Methodenbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern: 42 S.
- Holthausen N., Locher P., Blaser L., Pütz M., Bründl M. 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz. Nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern: 43 S.
- Horst K., Bockmühl K., Schliep R. 2013: Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland IX. Ergebnisse und Dokumentation des 9. Workshops. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 75 S.
- Hydrologischer Atlas der Schweiz 2015: Internet: <http://hydrologischeratlas.ch/de>. Abgerufen am 31.10.2016.
- Imhof M., Nicolet P., Voumard J., Jaboyedoff M. 2015: Hagel 2011. Untersuchung des Hagelunwetters vom 12./13. Juli 2011 im Kanton Aargau. Hrsg. Interkantonaler Rückversicherungsverband, Bern: 62 S.
- IPCC 2014: Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Hrsg. C.B. Field et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York: 32 S.
- IPCC 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Hrsg. T.F. Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York: 29 S.
- IRGC (International Risk Governance Council) 2015: Guidelines for Emerging Risk Governance, Lausanne: 59 S.
- IRGC (International Risk Governance Council) 2013: Public Sector Governance of Emerging Risks. How can central governments improve their anticipation of and early response to emerging risks? A concept note to accompany IRGC's workshop report on hallmarks and drivers of public sector governance of emerging risks, Lausanne: 20 S.

Jonas T. 2012: Monitoring von Schneewasserressourcen in der Schweiz. In: Forum für Wissen 2012 (Hrsg. WSL): S. 7 – 12.

Jörin J., Patt A., Maestri C., Knüsel B. 2016: Schlussbericht des Forschungsprojekts «Anpassungsfähigkeit der Schweiz an den Klimawandel». Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich: 150 S.

Kanton Bern 2015: Klimawandel und Naturgefahren. Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Hrsg. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern, Interlaken: 35 S.

Kanton Genf 2016: Bilan de la qualité de l'eau de l'année 2015: un optimisme mesuré.

Internet: <http://ge.ch/air/actualites/bilan-de-la-qualite-de-lair-de-lannee-2015-un-optimisme-mesure>. Abgerufen am 13.12.2016.

Kanton Genf 2015: Pic d'ozone en Suisse romande: demain, et pour la première fois, les transports publics de la région genevoise à tarif réduit.

Internet: <http://ge.ch/air/actualites/pic-dozone-en-suisse-romande-demain-et-pour-la-premiere-fois-les-transports-publics-de-la-region>. Abgerufen am 13.12.2016.

Kanton Wallis 2009: Kantonales Waldbrandbekämpfungskonzept, Sitten: 45 S.

Kapsch M.-L., Kunz M., Vitolo R., Economou T. 2012: Long-term trends of hail-related weather types in an ensemble of regional climate models using a Bayesian approach. In: Journal of Geophysical Research. Volume 117, D15107.

Karremann M.K., Pinto J.G., von Bomhard P.J., Klawe M. 2014: On the clustering of winter storm loss events over Germany. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14: S. 2041–2052.

Kaulfuss S. 2016: Wie Waldbrände entstehen.

Internet: www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_entstehung_waldbrand/index_DE. Abgerufen am 19.10.2016.

Kehrli P., Kuske S., Baroffio C., Fischer S., Linder C., Risch P., Samietz J. 2013: Kirschessigfliege, neu in der Schweiz. In: Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau 4/13: S. 8 – 12.

Klein G., Vitasse Y., Rixen C., Marty C., Rebetez M. 2016: Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. In: Climatic Change 139: S. 637 – 649.

Kovats R.S., Valentini R., Bouwer L.M., Georgopoulou E., Jacob D., Martin E., Rounsevell M., Soussana J.-F. 2014: Europe. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Hrsg. V.R. Barros et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York: S. 1267 – 1326.

Kovats R. S., Hajat S. 2008: Heat stress and public health. A critical review. In: Annual Review of Public Health 29(1): S. 41 – 55.

Kwiatkowski M., Höchli B. 2016: Wenn Wasser zum neuen Öl wird. Wie die Schweiz die Konflikte der Zukunft meistert. Gottlieb Duttweiler Institut (GDI). Im Auftrag des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Rüschlikon: 52 S.

Lawrence M.G., Schmale J., von Schneidmesser E. 2014: Zwei Seiten einer Medaille. Klimawandel und Luftverschmutzung. In: Senckenberg – Natur – Forschung – Museum 144(1/2), Senckenberg: S. 18 – 25.

Lévesque M., Rigling A., Brang P. 2015: Réponse à la sécheresse de conifères indigènes et exotiques: une étude dendroécologique. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Vol. 166: S. 372 – 379.

LID (Landwirtschaftlicher Informationsdienst) 2014: Landwirtschaft im Klimawandel – Erkenntnisse und Strategien zum Umgang mit Wasser. LID Dossier Nr. 467 vom 22. Oktober 2014, Bern: 13 S.

Loat R., Meier E. 2003: Wörterbuch Hochwasserschutz. Hrsg. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bern: 424 S.

-
- Lüthi M.P., Bauder A., Funk, M. 2010: Volume change reconstruction of Swiss glaciers from length change data. In: *J. Geophys. Res.*, 115: F04022.
- Martin S. 2012: Examples of 'no -regret', 'low -regret' and 'win-win' adaptation actions. RBGE on behalf of ClimateXChange, Edinburgh: 11 S.
- Marty C., Schlögl S., Bavay M., Lehning M. 2017: How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps. In: *The Cryosphere*, 11: S. 517 – 529.
- Marty C. 2008: Regime shift of snow days in Switzerland. In: *Geophysical Research Letters* 35: L12501.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2017: Klimareport 2016, Zürich: 80 S.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2016a: Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz. Fachbericht Nr. 260, Zürich: 68 S.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2016b: Klimareport 2015, Zürich: 84 S.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2016c: Klima-Indikatoren. Hitze – Tropenächte.
Internet: www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html?filters=TN_1961-today_YEAR®ion=Tabelle. Abgerufen am 08.08.2016.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2015: Auftausalzverbrauch im Klimawandel. Fachbericht Nr. 253, Zürich: 36 S.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2014a: Klimaszenarien Schweiz. Eine regionale Übersicht. Fachbericht Nr. 243. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU): 36 S.
- MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) 2014b: Hitze.
Internet: www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/gefahren/erlaeuterungen-der-gefahrenstufen/gefahrenstufen-hitze.html. Abgerufen am 27.04.2017.
- Michelozzi P., Accetta G., De Sario M., D'Ippoliti D., Marino C., Baccini M., Biggeri A., Ross Anderson H., Katsouyanni K., Ballester F., Bisanti L., Cadum E., Forsberg., Forastiere F., Goodman P.G., Hojs A., Kirchmayer U., Medina S., Paldy A., Schindler C., Sunyer J., Perucci C.A. 2009: High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, volume 179: S. 383 – 389.
- Millard B. 2016: Extreme Heat. Hot Cities Adapting to a Hotter World. Symposium Summary Report, New York: 24 S.
- Mohr S., Kunz M., Geyer B. 2015: Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast. In: *Geophysical Research Letters*. Vol. 42: S. 10904 – 10912.
- Mosimann E. 2016: Conséquences du changement climatique pour la production fourragère. In: *Montagna* 3/2016: S. 12 – 13.
- Nauser M. 2016: Das Wallis angesichts des Klimawandels. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren. Hrsg. Staat Wallis, Sion: 19 S.
- Nauser M., Graf O., Wälty A. 2015: Systemische Risiken und Umweltgouvernanz. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 63 S.
- NELAK 2013: Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Forschungsbericht NFP 61. Hrsg. Haeberli W., Bütler M., Huggel C., Müller H., Schleiss A., Zürich: 300 S.
- Nisi L., Martius O., Hering A., Kunz M., Germann U. 2016: Spatial and temporal distribution of hailstorms in the Alpine region: a long-term, high resolution, radar-based analysis. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 142: S. 1590 – 1604.

OcCC/ProClim 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, Bern: 167 S.

OcCC/SCNAT 2005: Hitzesommer 2003. Synthesebericht. Hrsg. ProClim, Bern: 31 S.

OECD 2014: Boosting Resilience through Innovative Risk Governance, OECD Publishing: 144 S.

Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley, J.A. 2005: Impact of regional climate change on human health. In: Nature Reviews, Vol. 438/17: S. 310 – 317.

Pauli H., Gottfried M., Grabherr G. 2001: High summits of the Alps in a changing climate. In: «Fingerprints» of Climate Change. Edited by Walther et al. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: S. 139 – 149.

Pfister C. 2009: Die «Katastrophenlücke» des 20. Jahrhunderts und der Verlust traditionellen Risikobewusstseins. In: Gaia 18(3): S. 239 – 246.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2017a: Hochwasser.
Internet: www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/crue/. Abgerufen am 08.06.2017.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2017b: Waldbrand Leuk (2003).
Internet: www.planat.ch/de/bilder-detailansicht/datum/2011/01/14/waldbrand-leuk-2003/. Abgerufen am 08.06.2017.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016a: Trockenheit.
Internet: www.planat.ch/de/wissen/trockenheit/. Abgerufen am 31.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016b: Überschwemmung.
Internet: www.planat.ch/de/wissen/hochwasser/ueberschwemmung/. Abgerufen am 19.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016c: Chronik 1900 – 1999.

Internet: www.planat.ch/de/wissen/chronik/1900-1999/. Abgerufen am 19.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016d: Erdrutsch.

Internet: www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/erdrutsch/. Abgerufen am 19.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016e: Hagelschäden.

Internet: www.planat.ch/de/bilder-detailansicht/datum/2011/07/18/hagelschaeden/. Abgerufen am 19.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016f: Sturm.

Internet: www.planat.ch/de/wissen/sturm/. Abgerufen am 30.05.2017.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2016g: Steinschlag und Felssturz.

Internet: www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/steinschlag-felssturz/. Abgerufen am 19.10.2016.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2015: Sicherheitsniveau für Naturgefahren – Materialien, Bern: 68 S.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) 2013: Sicherheitsniveau für Naturgefahren, Bern. 15 S.

Pluess A., Augustin S., Brang P. 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Hrsg. Bundesamt für Umwelt (BAFU) & Eidg. Forschungsanstalt WSL. Haupt Verlag: 447 S.

Portal der Schweizer Regierung 2016: Drei Jahrzehnte Nationale Bodenbeobachtung NABO. Die Bodenqualität im Fokus.

Internet: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-64573.html>. Abgerufen am 21.11.2016.

Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen 2007: Elementarschutzregister Hagel. Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle. Synthesebericht, Bern: 35 S.

- Pro Natura 2013: Invasive gebietsfremde Arten bedrohen die Biodiversität. In: Pro-Natura-Magazin 02 2013: 13 S.
- ProClim 2015: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Screening der Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten sowie bestehender Monitoringsysteme. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 93 S.
- PwC (PricewaterhouseCoopers) 2013: International threats and opportunities of climate change for the UK. Final report: 149 S.
- Raetzo H. 1997: Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Vdf-Verlag ETHZ: 256 S.
- Rajczak J., Pall P., Schär C. 2013: Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the alpine region. In: Journal of Geophysical Research – Atmospheres 118 (9): S. 3610 – 3626.
- Ramsar-Konvention 2011: Wetland Ecosystem Services – an introduction.
Internet: www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_00_e.pdf. Abgerufen am 17.11.2016.
- Regionalkonferenz Oberland-Ost 2016: Klimaadaptionsstrategie Grimselgebiet. Strategie zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels im Grimselgebiet. Oberingenieurkreis I und Regionalkonferenz Oberland-Ost, Interlaken: 50 S.
- Reinhard M., Rebetez M., Schlaepfer R. 2005: Recent climate change. Rethinking drought in the context of Forest Fire Research in Ticino, South of Switzerland. In: Theoretical and Applied Climatology. Vol. 82: S. 17 – 25.
- Renn O. 2015: Interview vom 04.08.2015. In: Nauser M., Graf O., Wälti A. 2015: Systemische Risiken und Umweltgouvernanz. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 63 S.
- Renn O. 2014: Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten, Frankfurt am Main: 608 S.
- Reynard E. 2008: Transporter l'eau. Regards croisés sur les réseaux urbains et ruraux de l'eau en Suisse. In: Flux Nr. 72/73: S. 27 – 38.
- Rigling D., Hilfiker S., Schöbel C., Meier F., Engesser R., Schiedegger C., Stofer S., Senn-Irlet B., Queloz V. 2016: Das Eschentriebsterben. Biologie, Krankheitssymptome und Handlungsempfehlungen. Merkblatt für die Praxis Nr. 57: 8 S.
- Rixen C., Teich M., Lardelli C., Gallati D., Pohl M., Pütz M., Bebi P. 2011: Winter tourism and climate change in the Alps. An assessment of resource consumption, snow reliability, and future snowmaking potential. In Mountain Research and Development 31 (3): S. 229 – 236.
- Robine J.M., Cheung S.L., Le Roy S., van Oyen H., Herrmann F.R. 2007: Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114: 15 S.
- Röthlisberger G. 1991: Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 122 S.
- Rubin A., Rubin J.-F., Wahli T. 2015: Suivi des piscicultures productrices de truites. Projet MRP – Vaud 2013. Hrsg. Fondation de la Maison de la Rivière, Tolochenaz: 56 S.
- Rüttinger L., Pohl B. 2016: Klimawandel und Sicherheit in der Schweizer Aussen- und Sicherheitspolitik. Grundlagenstudie. Im Auftrag des Eidgenössischen Departements für auswärtige Angelegenheiten (EDA). Berlin: 35 S.
- SAB (Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für die Berggebiete) 2010: Tourismus im Klimawandel. Strategien zur Saisonverlängerung. Studie der SAB für die Konferenz der Gemeindepräsidenten/Innen von Ferienorten im Berggebiet. 11.10.2010, Bern: 31 S.
- SBS (Seilbahnen Schweiz) 2015a: Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche. Ausgabe 2015, Bern: 34 S.

- SBS (Seilbahnen Schweiz) 2015b: Saisonbilanz Winter 2014/15. Entwicklung, Erkenntnisse und Prognosen, Bern: 31 S.
- SBS (Seilbahnen Schweiz) 2012: Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche. Ausgabe 2012, Bern: 36 S.
- Schafellner C., Schopf A. 2014: Massenaufreten der Fichtengebirgsblattwespe in Tieflagen als Folge des Klimawandels? In: Forstschutz Aktuell 60/61: S. 12 – 19.
- Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. In: Nature 427: S. 332 – 336.
- 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. In: Journal of Geophysical Research – Atmosphere: 12 S.
- Scherrer S.C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C. 2013: Snow variability in the Swiss Alps 1864 – 2009. In: International Journal of Climatology. Volume 33. Issue 15: S. 3162 – 3173.
- Scherrer S.C., Appenzeller C. 2004: Trends in Swiss Alpine snow days. The role of local- and large-scale climate variability. In: Geophysical research letters 31: 4 S.
- Schmocker-Fackel P., Naef F. 2010: Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. In: Hydrol. Earth Syst. Sci. 14: S. 1581 – 1594.
- Schwank O., Peter M., North N., Lückge H., Kraemer R.A., Görlach B., Lange S., Nathani C. 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse). Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich/Berlin/Rüschlikon: 167 S.
- Schweizer Bauernverband 2016: Schädlinge. Internet: <https://www.landwirtschaft.ch/wissen/pflanzen/allgemeines/pflanzenschutz/schaedlinge/>. Abgerufen am 24.08.2016.
- Schweizerische Eidgenossenschaft 2016: Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012, Bern: 125 S.
- Schweizerische Eidgenossenschaft 2015: Umwelt Schweiz 2015. Bericht des Bundesrates. Hrsg. Schweizerischer Bundesrat, Bern: 144 S.
- Schweizerische Eidgenossenschaft 2012: Strategie Biodiversität Schweiz. In Erfüllung der Massnahme 69 (Ziel 13, Art. 14, Abschnitt 5) der Legislaturplanung 2007 – 2011. Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität, Bern: 89 S.
- SCNAT (Akademien der Naturwissenschaften Schweiz) 2016a: Alpen. Internet: https://naturwissenschaften.ch/topics/biodiversity/about_biodiversity/zustand_und_entwicklung/gebirge. Abgerufen am 12.07.2016.
- SCNAT (Akademien der Naturwissenschaften Schweiz) 2016b: Landwirtschaft. Internet: https://naturwissenschaften.ch/topics/green_genetic_engineering/agriculture. Abgerufen am 24.08.2016.
- SECO (Staatssekretariat für Wirtschaft) 2011: Der Schweizer Tourismus im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsoptionen, Bern: 64 S.
- SECO (Staatssekretariat für Wirtschaft) 2007a: Arbeit bei Hitze im Freien... Vorsicht! Information für Arbeitgeber und Arbeitnehmer: 2 S.
- SECO (Staatssekretariat für Wirtschaft) 2007b: Arbeit bei Hitzeperioden in Gebäuden... Vorsicht! Information für Arbeitgeber und Arbeitnehmer: 2 S.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2014: Global Biodiversity Outlook 4, Montréal: 155 S.
- Seneviratne S. 2012: Climate science. Historical drought trends revisited. In: Nature 491: S. 338 – 339.

Serquet G., Rebetez M. 2013: Changements climatiques. Quel avenir pour les destinations touristiques des Alpes et du Jura vaudois? 135 S.

Serquet G., Rebetez M. 2011: Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. In: Climatic Change 108: S. 291 – 300.

Serquet G., Marty C., Dulex J.-P., Rebetez M. 2011: Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland. In: Geophys Res Lett 38(7): L07703 5 S.

SGHL, CHy (Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie, Schweizerische Hydrologische Kommission) 2011: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Synthesebericht. In: Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 38, Bern: 28 S.

Shine C., Kettunen M., ten Brink P., Genovesi P., Gollasch S. 2009: Technical support to EU strategy on invasive species (IAS). Recommendations on policy options to control the negative impacts of IAS on biodiversity in Europe and the EU. Final report for the European Commission. Ed. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brüssel: 35 S.

SLF (Institut für Schnee- und Lawinenforschung) 2017: Einfluss des Hitzesommers 2015 auf Felsstürze. Internet: <https://www.slf.ch/de/projekte/felsstuerze-2015.html>. Abgerufen am 30.05.2017.

SLF (Institut für Schnee- und Lawinenforschung) 2016: Nassschneelawine. Internet: <https://www.slf.ch/de/lawinen/lawinenkunde-und-praevention/lawinenarten.html>. Abgerufen am 02.10.2016.

Smith K.R., Woodward A., Campbell-Lendrum D., Chadee D.D., Honda Y., Liu Q., Olwoch J.M., Revich B., Sauerborn R. 2014: Human health – Impacts, adaptation, and co-benefits. In: Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Hrsg. C.B. Field et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York: S. 709 – 754.

Steger C., Kotlarski S., Jonas T., Schär C. 2013: Alpine Snow Cover in a Changing Climate. A Regional Climate Model Perspective. In: Climate Dynamics 41(3–4): S. 735 – 754.

Steinmüller K. 2007: Wilde Zukünfte. In: Swissfuture – das Magazin für Zukunftsmonitoring 02/07: S. 4 – 10. Internet: https://www.swissfuture.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2013/08/02_07_Wildcards.pdf. Abgerufen am 30.05.2017.

Steinmüller A., Steinmüller K. 2004: Wild Cards. Wenn das Unwahrscheinliche eintritt. Murmann Verlag GmbH, Hamburg: 200 S.

Stucki P., Brönnimann S., Martius O., Philipp N. 2014: A catalog of high-impact windstorms in Switzerland since 1859. In: Natural Hazards and Earth System Sciences 14(11): S. 2867 – 2882.

Swiss Re 2012: Überschwemmungen in der Schweiz – ein unterschätztes Risiko: 12 S.

SWV (Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband) 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 99. Jahrgang 2007, Baden: S. 55 – 60.

TECFA (Universität Genf) 2016: Tableau de classification des avalanches. Internet: <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9899/jeu09/schema.htm>. Abgerufen am 02.10.2016.

Thommen O., Braun-Fahrländer C. 2004: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG), Basel: 85 S.

Tratschin R., Dübendorfer C., Fu R. 2016: Hitze und Trockenheit im Sommer und Herbst 2015. Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft. Bericht vom 28. September 2016. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zollikon: 33 S.

Truites & Rivières 2016: Comment agit la température de l'eau sur le milieu.

Internet: www.truitesetrivieres.com/action-de-la-temperature-sur-leau.html. Abgerufen am 21.11.2016.

UKCIP (UK Climate Impacts Programme) 2007: Identifying adaptation options, Oxford: 34 S.

UNDP (Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen) 2016: Climate Change and Labour. Impacts of Heat in the Workplace. 33 S.

Usbeck T., Wohlgemuth T., Pfister C., Volz R., Beniston M., Dobbertin M. 2010: Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007. In: *Int. J. Climatol.* 30: S. 347 – 358.

Valese E., Conedera M., Vacik H., Japelj A., Beck A., Cocca G., Cvenkel H., Di Narda N., Ghiringhelli A., Lernessi A., Mangiavillano A., Pelfini F., Pelosini R., Ryser D., Wastl C. 2011: Wildfires in the Alpine region. First results from the ALP FFIRS project. 5th International Wildland Fire Conference: 15 S.

Vicedo-Cabrera A.M., Ragettli M.S., Schindler C., Rössli M. 2016: Excess mortality during the warm summer 2015 in Switzerland. In *Swiss Medical Weekly*. 146: 12 S.

Ville de Sion 2017: Aménagement des villes et adaptation au changement climatique. Sélection d'expériences et de bonnes pratiques de la Ville de Sion, Sion: 68 S.

Vittoz P., Cherix D., Gonseth Y., Lubini V., Maggini R., Zbinden N., Zumbach S. 2013: Climate change impacts on biodiversity in Switzerland. A review. In: *Journal for Nature Conservation*. Volume 21. Issue 3: S. 154 – 162.

Walter C., Bispo A., Chenu C., Langlais-Hesse A., Schwartz C. 2015: Les services écosystémiques des sols – du concept à sa valorisation. In: *Cahier Demeter*: S. 73 – 90.

Wastl C., Schunk C., Lüpke M., Cocca G., Conedera M., Valese E., Menzel A. 2013: Large-scale weather types, forest fire danger, and wildlife occurrence in the Alps. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 168: S. 15 – 25.

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

Wehse H., Chaix O., Gander Y., Birrer A., Fritsch M., Meylan B., Zahner S. 2017: Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Ressourcen. Ein Vorgehen gestützt auf bestehende Planungsinstrumente. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern: 88 S.

Weidmann M. 2010: Sicherheit von Dächern und Fassaden bezüglich schadenverursachendem Wind. Synthesebericht für Architekten, Bauherren und Gebäudeeigentümer. Hrsg. Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern: 68 S.

Wermelinger B., Forster B., Hölling D., Plüss T., Raemy O., Kay A. 2015: Invasive Laubholz-Bockkäfer aus Asien. Ökologie und Management. 2. überarbeitete Auflage. Merkblatt für die Praxis Nr. 50: 16 S.

Wetter O., Pfister C., Weingartner R., Trösch J. 2011: The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence. In: *Hydrological Sciences Journal* 56(5): S. 733 – 758.

Wetter-Alarm 2016: Schnee.

Internet: <https://wetteralarm.ch/alarme-tipps/schnee/>. Abgerufen am 15.06.2017.

Wilhelmi O.V., Hayden M.H. 2010: Connecting people and place. A new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. In: *Environmental Research Letters* 5(1), Boulder: 7 S.

Wohlgemuth T., Brigger A., Gerold P., Laranjeiro L., Moretti M., Moser B., Rebetez M., Schmatz D., Schneiter G., Sciacca S., Sierro A., Weibel P., Zumbach S., Conedera M. 2010: Leben mit Waldbrand. Merkblatt für die Praxis Nr. 46: 16 S.

WSL, BUWAL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse, Birmensdorf/Bern: 376 S.

Yu Y., Feng K., Hubacek K. 2013: Tele-connecting local consumption to global land use. In: Global Environmental Change 23 (2013): S. 1178 – 1186.

Zecken.ch 2017: Krankheiten.
Internet: www.zecken.ch/Krankheiten/krankheiten.html.
Abgerufen am 27.02.2017.

Zuber R. 2015: Streusalz und seine Auswirkungen. In: Wald und Holz 1/15: S. 24 – 26.

A3.3 Abbildungen

Abb. 1: Prioritäre, klimabedingte Risiken und Chancen für die Schweiz 13

Abb. 2: Fallstudiengebiete und Grossräume für die Analyse klimabedingter Risiken und Chancen 17

Abb. 3: Übersichtsgrafik zur Illustration der Risiken und Chancen pro Herausforderung 18

Abb. 4: Karte zur Illustration der Veränderung von Risiken (bzw. Chancen) pro Grossraum 18

Abb. 5: Piktogramme zur Kennzeichnung der Grossräume, in welchen ein Risiko (bzw. eine Chance) prioritär ist 19

Abb. 6: Grössere Hitzebelastung: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken 24

Abb. 7: Veränderung der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit pro Grossraum 26

Abb. 8: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit» prioritär ist 27

Abb. 9: Veränderung der Leistungseinbussen bei der Arbeit pro Grossraum 29

Abb. 10: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Leistungseinbussen bei der Arbeit» prioritär ist 29

Abb. 11: Veränderung des Kühlenergiebedarfs pro Grossraum 30

Abb. 12: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme des Kühlenergiebedarfs» prioritär ist 31

Abb. 13: Zunehmende Trockenheit: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken 33

Abb. 14: Veränderung der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft pro Grossraum 36

Abb. 15: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft» prioritär ist 36

Abb. 16: Veränderung der Waldbrandgefahr pro Grossraum 38

Abb. 17: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Waldbrandgefahr» prioritär ist 39

Abb. 18: Veränderung der Wasserknappheit pro Grossraum 40

Abb. 19: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Wasserknappheit» prioritär ist 41

Abb. 20: Veränderung der sommerlichen Wasserkraftproduktion pro Grossraum 42

Abb. 21: Grossräume, in welchen das Risiko «Abnahme der sommerlichen Wasserkraftproduktion» prioritär ist 42

Abb. 22: Steigende Schneefallgrenze: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen 45

Abb. 23: Veränderung der Ertragseinbussen beim Wintertourismus pro Grossraum 47

Abb. 24: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Ertragseinbussen beim Wintertourismus» prioritär ist 47

Abb. 25: Veränderung der winterlichen Energieproduktion pro Grossraum	48	Abb. 37: Potenzielle Sachschäden durch Stürme pro Grossraum	69
Abb. 26: Grossraum, in welchem die Chance «Zunahme der winterlichen Energieproduktion» prioritär ist	49	Abb. 38: Grossräume, in welchen Sachschäden durch die Veränderung der Sturmaktivität prioritäre Bedeutung haben	69
Abb. 27: Veränderung der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten pro Grossraum	50	Abb. 39: Potenzielle Sachschäden durch Hagel pro Grossraum	70
Abb. 28: Grossräume, in welchen die Chance «Abnahme der schneebedingten Sachschäden und Unterhaltskosten» prioritär ist	51	Abb. 40: Grossräume, in welchen Sachschäden durch die Veränderung der Hagelaktivität prioritäre Bedeutung haben	71
Abb. 29: Steigendes Hochwasserrisiko: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken und Chancen	54	Abb. 41: Beeinträchtigung der Wasser-, Boden- und Luftqualität: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken	73
Abb. 30: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Personenschäden durch Hochwasser, Massenbewegungen, Sturm und Blitzschlag» prioritär ist	55	Abb. 42: Beeinflussung von Ökosystemen und Auswirkungen auf Artenzusammensetzung und Ökosystemleistungen	78
Abb. 31: Veränderung der Sachschäden durch Hochwasser pro Grossraum	57	Abb. 43: Grossräume, in welchen das Risiko «Beeinträchtigung der Biodiversität» und die Chance «Veränderung der Artenzusammensetzung und Lebensräume» prioritär ist	84
Abb. 32: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Sachschäden durch Hochwasser» prioritär ist	58	Abb. 44: Ausbreitung von Schadorganismen, Krankheiten und gebietsfremden Arten: Übersicht über die prioritären Risiken	87
Abb. 33: Abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Risiken	60	Abb. 45: Veränderung der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit pro Grossraum	89
Abb. 34: Veränderung der Sachschäden durch abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen pro Grossraum	63	Abb. 46: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit» prioritär ist	90
Abb. 35: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Sachschäden durch abnehmende Hangstabilität und häufigere Massenbewegungen» prioritär ist	63	Abb. 47: Grossraum, in welchem das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der Gesundheit von Nutz- und Heimtieren» prioritär ist	91
Abb. 36: Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität: Übersicht über die potenziellen, prioritären und nicht-prioritären Risiken oder Chancen	66	Abb. 48: Veränderung der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft pro Grossraum	92

Abb. 49: Grossraum, in welchem das Risiko «Zunahme der Ernteeinbussen in der Landwirtschaft» prioritär ist	92
Abb. 50: Veränderung der Beeinträchtigung der Waldleistungen pro Grossraum	94
Abb. 51: Grossräume, in welchen das Risiko «Zunahme der Beeinträchtigung der Waldleistungen» prioritär ist	94
Abb. 52: Verbesserung von Standortbedingungen: Übersicht über die prioritären und nicht-prioritären Chancen	97
Abb. 53: Veränderung des Heizenergiebedarfs pro Grossraum	98
Abb. 54: Grossräume, in welchen die Chance «Abnahme des Heizenergiebedarfs» prioritär ist	99
Abb. 55: Veränderung der Erträge im Sommer- tourismus pro Grossraum	101
Abb. 56: Grossräume, in welchen die Chance «Zunahme der Erträge im Sommertourismus» prioritär ist	101
Abb. 57: Veränderung der Ernteerträge in der Landwirtschaft pro Grossraum	103
Abb. 58: Grossräume, in welchen die Chance «Zunahme der Ernteerträge in der Landwirtschaft» prioritär ist	103
Abb. 59: Grossräume der Schweiz und Fallstudien	121
Abb. 60: Relevanzmatrix: Gefahren und Effekte pro Auswirkungsbereich	122