

2015

KLIMAWANDEL GRAUBÜNDEN

Arbeitspapier 3: Risiken und Chancen
ANALYSE DER RISIKEN UND CHANCEN



Amt für Natur und Umwelt
Uffizi per la natira e l'ambient
Ufficio per la natura e l'ambiente

RISIKEN UND CHANCEN

Impressum

Auftraggeber:

Amt für Natur und Umwelt (ANU) Kanton Graubünden
Abteilung Luft, Lärm und Strahlung
Gürtelstr. 89
7001 Chur

Mit Unterstützung von:

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abteilung Klima
CH-3003 Bern

Auftragnehmende:

Bergwelten 21 AG, Bahnhofstr. 8a, 7260 Davos Dorf

Global Risk Forum GRF Davos, Promenade 35, 7270 Davos Platz
info@grforum.org

Autorin/Autoren:

Veronika Stöckli (Bergwelten 21 AG)
Walter Ammann, Marc Stal (GRF Davos)

Projektbegleitung:

Georg Thomann, Hanspeter Lötscher (ANU), Carla Gross, Pamela Köllner-Heck (BAFU)

Zitiervorschlag:

ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2015. Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 einer kantonalen Klimastrategie. Chur, 142 S.

Hinweis:

Dieses Arbeitspapier wurde im Auftrag des ANU Chur und mit Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmenden verantwortlich.

Zur Version:

Bereinigte Fassung vom 20. Oktober 2015, nach gemeinsamem Workshop vom 10. Februar 2015 unter Beteiligung der folgenden Ämter und öffentlich rechtlichen Anstalten des Kantons Graubünden (in alphabetischer Reihenfolge): Amt für Energie und Verkehr (AEV), Amt für Jagd und Fischerei (AJF), Amt für Landwirtschaft und Geoinformation (ALG), Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit (ALT), Amt für Militär und Zivilschutz (AMZ), Amt für Natur und Umwelt (ANU), Amt für Raumentwicklung (ARE), Amt für Wald und Naturgefahren (AWN), Amt für Wirtschaft und Tourismus (AWT), Gesundheitsamt (GA), Tiefbauamt (TBA), Gebäudeversicherung Graubünden (GVG).

Chur, 23. November 2015

Dank

Daten und Informationen

Amt für Energie und Verkehr AEV, Amt für Natur und Umwelt ANU, Amt für Wald und Naturgefahren AWN, Amt für Wirtschaft und Tourismus AWT, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Bundesamt für Verkehr BAV, Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, Gebäudeversicherung Graubünden GVG, Gesundheitsamt GA, Kantonspolizei Graubünden, Landwirtschaftliches Bildungs- und Beratungszentrum LBBZ Plantahof, Tiefbauamt TBA, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos.

Workshop und Vernehmlassung

Kanton

Amt für Energie und Verkehr (AEV), Amt für Jagd und Fischerei (AJF), Amt für Landwirtschaft und Geoinformation (ALG), Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit (ALT), Amt für Militär und Zivilschutz (AMZ), Amt für Natur und Umwelt (ANU), Amt für Raumentwicklung (ARE), Amt für Wald und Naturgefahren (AWN), Amt für Wirtschaft und Tourismus (AWT), Gesundheitsamt (GA), Tiefbauamt (TBA), Gebäudeversicherung Graubünden (GVG).

Bund

Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Staatssekretariat für Wirtschaft (seco).

Externe Qualitätssicherung/ Review

Dr. Michael Bründl, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos,

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering AG, St.Gallen.

Zusammenfassung

Der Kanton Graubünden nimmt die Herausforderungen des Klimawandels an und bezeichnet die grössten Chancen und Risiken, die sich für ihn ergeben. Damit identifiziert er wichtige Ansatzpunkte für eine wirk-same Umsetzung von Massnahmen der Anpassung.

Der Fokus liegt dabei auf Auswirkungsbereichen, für welche die öffentliche Hand eine besondere Verantwortung trägt. Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Graubünden folgt im Grundsatz der vorgeschlagenen Struktur und den Methoden des Bundes (EBP/SLF/WSL, 2013a), angepasst an die Gegebenheiten im Kanton Graubünden. Analysiert wurden die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Infrastruktur/Gebäude, Wasserwirtschaft und Biodiversität. Als Gefahren oder Effekte, welche in einem veränderten Klima auch veränderte Auswirkungen haben, wurden Veränderung der Mitteltemperatur, Hitzewelle, Frost, Änderung des Niederschlagsregimes, Trockenheit, Reduktion der Schneedecke/Abschmelzen der Gletscher, Auftauen Permafrost, Lawinen, Hochwasser (inklusive Überschwemmung und Murgang), Steinschlag/Felssturz/Bergsturz, Waldbrand, sowie Sturm/Orkan analysiert. Dazu wurden Daten und Informationen zu bisherigen Schäden und zukünftigen Klimaentwicklungen beigezogen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf den Kanton Graubünden hat, falls es nicht gelingt, die Emissionen auf ein minimales Ausmass zu beschränken und sich rechtzeitig an die Veränderungen des Klimas und seiner Gefahren und Effekte anzupassen. Ohne Massnahmen sind Bewohnerinnen und Bewohner in Tallagen durch die zunehmende Hitze grossen gesundheitlichen Risiken ausgesetzt, z. B. in der Region Chur und im unteren Misox. Die ansteigende Schneefallgrenze führt dazu, dass Wintersportorte vor allem in tieferen Lagen keine ausreichende Schneedecke für den Schneesport mehr bieten können. Steigende Mitteltemperaturen erhöhen für Mensch und Tier die Gefahr, dass sich Schadorganismen weiter ausbreiten. Die Biodiversität ist durch den raschen Wandel insbesondere in Feuchtgebieten gefährdet. Allgemein die grössten Risiken bestehen dort, wo sich die grössten Werte befinden, also in erster Linie in Tallagen.

Der Klimawandel bewirkt auch positive Effekte und führt dazu, dass bestehende Risiken kleiner werden. Das veränderte Niederschlagsregime – mehr Niederschlag im Winter und zudem mehr Regen statt Schnee – bietet der Energiewirtschaft die Chance, mehr Wasser für die Stromproduktion verfügbar zu haben. Weniger Niederschlag im Sommer kombiniert mit Hitzewellen in Tallagen bieten für den Tourismus im Berggebiet mit dem Thema Sommerfrische neue Chancen. Die zunehmend warme Temperatur schliesslich birgt auch die Chance, dass weniger Heizenergie nachgefragt werden muss. Zudem wachsen die Nutzpflanzen rascher und werfen höhere Erträge ab. Auch wärmeliebende Organismen und damit die Biodiversität kann von dieser Entwicklung profitieren. Im Wald kann sich das Artenspektrum vergrössern und seine obere Grenze in grössere Höhen verschieben. Schliesslich reduziert sich das Risiko, dass Spätfröste den Ertrag im Obst- und Ackerbau schmälern, oder dass Lawinen Wald, Gebäude und Infrastrukturen beschädigen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Arbeitspapiers 3 skizzieren und bewerten die erwarteten Risiken und Chancen des Kantons Graubünden durch den Klimawandel. Sie sind grobe Abschätzungen und zeigen grosse Unsicherheiten auf. Seltene Ereignisse oder Ereignisketten werden zudem in der vorliegenden Arbeit nicht weiter vertieft. Die Ergebnisse zeigen dennoch, in welchen Bereichen der Kanton Risiken erwarten muss, wenn nicht gehandelt wird. Er zeigt aber auch die Chancen auf, welche sich aus einem wärmeren Klima ergeben könnten. Das vorliegende Arbeitspapier soll die Regierung dabei unterstützen, die richtigen Massnahmen im Umgang mit dem Klimawandel im Kanton Graubünden zu wählen und damit die Risiken zu minimieren und die Chancen bestmöglich zu nutzen.

Resumaziun

Il Grischun s'occupa da las sfidas da la midada dal clima ed enumerescha las schanzas e las ristgas las pli grondas che resultan per el. Qua tras identifitgescha el puncts da partenza impurtants per realisar en moda efficazia mesiras d'adattaziun.

Il focus vegn mess sin ils effects da secturs, nua ch'il maun public porta ina responsabladad speziala. L'analisa da las ristgas e da las schanzas che resultan per il chantun Grischun tras la midada dal clima suonda da princip la structura proponida e las metodos da la confederaziun (EBP/SLF/WSL, 2013a), è dentant vegnida adattada a las relaziuns en il chantun Grischun. Analisads èn vegnids ils effects dals secturs sanadad, agricultura, economia forestala, energia, turissem, infrastruttura/edifizis, economia d'aua e biodiversitad. Sco privels u effects che han er autras consequenzas en in clima midà, han ins analisà la midada da la temperatura media, undas da chalira, scheliras, midadas dal sistem da precipitaziuns, setgiras, la reduziun da la cuverta da naiv e la sdregliada dals glatschers, la sdregliada da la schelira permanenta, lavinas, auas grondas (inclusiv inundaziuns e bovas), crudadas da crappa e da grippa, incendis da guaud sco er stemprads ed orcans. Per quest intent èn vegnidas consultadas datas ed infurmaziuns davart donns d'enfin ussa e davart svilups dal clima en l'avegnir.

Ils resultats mussan che la midada dal clima ha consequenzas considerablas per il chantun Grischun, sch'i na reussescha betg da limitar las emissions ad in minimum e da s'adattar a temp a las midadas dal clima sco er a ses privels ed a ses effects. Senza mesiras èn las abitantas ed ils abitants en ils funds da las vals, p.ex. en la regiun da Cuira u en la part sut dal Mesauc, exponidas a grondas ristgas per la sanadad pervia da chaliras pli e pli grondas. Tras quai ch'il cunfin da naiv va ad aut, na pon cunzunt ils lieus da sport d'enviern en las regiuns pli bassas betg pli porscher ina cuverta da naiv grossa avunda per il sport da naiv. Tras l'augment da las temperaturas medias crescha per ils umans ed ils animals il privel che organissemms nuschaivels sa derasan pli e pli fitg. Spezialmain periclitads èn quels territoris, nua che las valurs las pli grondas èn situadas, en emprima lingia en ils funds da las vals.

La midada dal clima ha er effects positivs, cun la consequenza che ristgas existentas daventan pli pitschnas. Las midadas dal sistem da precipitaziuns – dapli precipitaziuns durant l'enviern cun dapli plievgia, ma pli pauca naiv – porschan a l'economia d'energia la schanza d'avair a disposiziun dapli aua per producir electricitad. Damain precipitaziuns durant la stad, en cumbinaziun cun undas da chalira en ils funds da las vals, porschan al turissem en il territori da muntogna novas schanzas sut il tema "frestgezza da stad". La temperatura pli e pli auta porscha la finala er la schanza ch'i vegn duvrà damain energia da stgandar. Plinavant creschan las plantas da niz pli svelts e portan dapli fritg. En il guaud po s'engrondir il spectrum da spezias ed il cunfin superiur dal guaud po sa spustar vers ensi. La finala sa reducescha il privel che scheliras tardivas diminueschan la racolta da la puma e dals fritgs d'er u che lavinas donnegeschan gauds, edifizis ed infrastrukturas.

Ils resultats da quest document da lavur 3 skizzeschan e valiteschan las ristgas e las schanzas che spetgan il chantun Grischun pervia da la midada dal clima. I sa tracta da stimaziuns approximativas che cuntengnan grondas intschertezzas. Eveniments rars u chadainas d'eveniments na vegnan plinavant betg approfondads en quest document. Tuttina mussan ils resultats, en tge secturs ch'il chantun sto far quint cun ristgas, sch'i na vegn betg agì. Il document mussa dentant er las schanzas che pudessan resultar d'in clima pli chaud. Quest document da lavur duai esser per la regenza in sustegn per tscherner las dretgas mesiras en connex cun la midada dal clima en il chantun Grischun, per uschia minimar las ristgas e trair a niz uschè bain sco pussaivel las schanzas.

Riassunto

I Grigioni accolgono le sfide legate ai cambiamenti climatici e individuano le opportunità e i rischi maggiori che ne risultano. Così facendo identificano importanti punti di partenza per un'efficace attuazione di misure di adattamento.

L'attenzione si concentra sui settori per i quali all'ente pubblico spetta una responsabilità particolare. L'analisi dei rischi e delle opportunità per il Cantone dei Grigioni in relazione ai cambiamenti climatici si basa sostanzialmente sulla struttura e sui metodi proposti dalla Confederazione (EBP/SLF/FNP, 2013a), adeguati alla situazione esistente nel Cantone dei Grigioni. Sono stati analizzati gli effetti per la salute, l'agricoltura, l'economia forestale, l'energia, il turismo, le infrastrutture/costruzioni, l'economia idrica e la biodiversità. Quali pericoli o effetti che con un mutato contesto climatico possono avere conseguenze diverse sono stati analizzati cambiamenti della temperatura media, ondate di caldo, gelo, modifica del regime di precipitazioni, siccità, riduzione del manto nevoso / scioglimento dei ghiacciai, scioglimento del permafrost, valanghe, piene (incluse inondazioni e colate detritiche), caduta di massi/frane, incendi boschivi nonché tempeste/uragani. A questo scopo si è fatto capo a dati e informazioni relativi a danni verificatisi finora e a futuri sviluppi climatici.

Gli esiti mostrano che i cambiamenti climatici avranno considerevoli effetti per il Cantone dei Grigioni, se non si riuscirà a contenere a un livello minimo le emissioni e ad adeguarsi tempestivamente ai cambiamenti climatici e ai rischi e agli effetti a ciò correlati. Senza l'adozione di misure, gli abitanti dei fondovalle saranno esposti a notevoli rischi sanitari provocati dalla crescente calura, ad esempio nella regione di Coira e nella bassa Mesolcina. L'innalzamento del limite delle nevicate farà sì che le località dove si praticano gli sport invernali, soprattutto quelle situate alle quote più basse, non potranno più offrire un manto nevoso sufficiente per la pratica di questi sport. L'aumento delle temperature medie aumenta il rischio legato all'ulteriore diffusione di organismi nocivi per uomini e animali. Sono particolarmente a rischio le zone in cui si registrano i valori più elevati, soprattutto i fondovalle. La biodiversità è minacciata dal rapido mutamento soprattutto nelle zone umide. I rischi più alti si presentano nelle zone, in cui si registrano i valori più alti, cioè principalmente nelle zone di valle.

I cambiamenti climatici hanno anche effetti positivi e comportano il ridimensionamento di rischi esistenti. Il cambiamento del regime di precipitazioni, con maggiori precipitazioni in inverno e con più pioggia che neve, dà la possibilità all'economia energetica di avere a disposizione più acqua per la produzione di elettricità. Meno precipitazioni in estate associate a ondate di caldo a basse quote offrono nuove opportunità al turismo nelle zone di montagna, in relazione alla ricerca di frescura in estate. Le temperature sempre meno fredde comportano infine anche una possibile minore domanda di energia di riscaldamento. Inoltre, le piante da reddito crescono più rapidamente e generano raccolti superiori. Gli organismi che amano il calore e quindi anche la biodiversità stessa possono approfittare di questo sviluppo.

La varietà delle specie presenti nel bosco può aumentare e il limite superiore del bosco può spostarsi verso quote più elevate. Infine, si riduce il rischio che gelate tardive compromettano i raccolti nella frutticoltura e nella campicoltura o che valanghe danneggino boschi, costruzioni e infrastrutture.

I risultati del presente documento di lavoro 3 delineano e valutano i rischi e le opportunità attesi per il Cantone dei Grigioni in relazione ai cambiamenti climatici. Si tratta di stime approssimative caratterizzate da un elevato margine di incertezza. Nel presente lavoro non vengono inoltre approfonditi eventi o concatenazioni di eventi rari. I risultati mostrano tuttavia in quali settori il Cantone deve attendersi dei rischi qualora non si agisca. Vengono però anche illustrate le opportunità che potrebbero risultare da un clima più mite. Il presente documento di lavoro è inteso quale sostegno per il Governo nella scelta delle misure corrette da adottare in relazione ai cambiamenti climatici nel Cantone dei Grigioni, contenendo con ciò al minimo i rischi e sfruttando nel migliore dei modi le opportunità.

Inhaltsverzeichnis

1	Synthese	13
1.1	Ausgangslage	13
1.2	Methoden	14
1.3	Unsicherheiten	18
1.4	Risiken und Chancen des Klimawandels	19
1.5	Handlungsbedarf	22
1.6	Gesellschaftlicher Wandel	23
1.7	Umgang mit Risiken und Chancen des Klimawandels	25
2	Orientierung	27
2.1	Risiken und Chancen des Klimawandels als dritter Teil der kantonalen Klimastrategie	27
2.2	Struktur des vorliegenden Arbeitspapiers	29
2.3	Methoden	30
3	Grundlagen	37
3.1	Der Kanton Graubünden	37
3.2	Das Klima	39
3.3	Die Entwicklung der Gefahren und Effekte	42
4	Risiken und Chancen des Klimawandels	57
4.1	Erläuterung der Abbildungen	57
4.2	Hinweise zu möglichen Extremereignissen und zu Handlungsfeldern	58
4.3	Gesundheit	59
4.4	Landwirtschaft	65
4.5	Waldwirtschaft	70
4.6	Energie	76
4.7	Tourismus	80
4.8	Infrastruktur und Gebäude	84
4.9	Wasserwirtschaft	90
4.10	Biodiversität	94
5	Rahmenbedingungen und Ziele für die Anpassung an den Klimawandel	103
5.1	Bestehende gesetzliche Regelungen	103
5.2	Ziele	104
6	Glossar	105
6.1	Abkürzungen	105
6.2	Erläuterungen	106
6.3	Literaturverzeichnis	108
6.4	Gesetzessammlung	115

6.5	Abbildungsverzeichnis.....	116
6.6	Tabellenverzeichnis.....	118
7	Anhang	123
7.1	Bewertung der Risiken und Chancen	123
7.2	Klima in Graubünden.....	124
7.3	Modelle	126

1 Synthese

1.1 Ausgangslage

Der Klimawandel verändert die Rahmenbedingungen unseres Lebens- und Arbeitsumfeldes. Die Veränderungen laufen meist langsam ab und sie werden noch über Jahrzehnte andauern. Sie bringen Risiken für Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt mit sich, zuweilen aber auch Chancen. Der Klimawandel kann verheerende Auswirkungen haben, beispielsweise indem Hitzewellen Menschenleben fordern. Umgekehrt kann der Klimawandel auch dazu führen, dass bisherige Schadenerwartungswerte geringer werden und Erträge etwa in der Landwirtschaft dank wärmerer Temperaturen zunehmen.

Die Folgen des Klimawandels sind nicht umfassend erforscht. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) geht davon aus, dass bei einer mittleren Erwärmung die Schäden im Jahr 2050 bei 0.15 % des Bruttoinlandprodukts (BIP) liegen (BAFU, 2012b). Für den Kanton Graubünden ergibt sich bei einem BIP von rund elf Mia. Franken eine anteilmässige Schadenssumme von rund 16 Mio. Franken. Der tatsächliche Betrag dürfte inskünftig um einiges höher liegen.

Die ungewissen Perspektiven des Klimawandels zwingen uns vorsorglich zu handeln. Das vorliegende Arbeitspapier stellt dafür die Grundlagen zusammen. Es bewertet Risiken und Chancen des Klimawandels und zeigt in groben Zügen auf, was auf den Kanton Graubünden zukommen könnte.

Die Ergebnisse sind keine Prognosen. Dafür sind die Projektionen in die Zukunft mit viel zu grossen Unsicherheiten verbunden. Das vorliegende Arbeitspapier schafft vielmehr eine Orientierungshilfe. Es vermittelt eine Vorstellung davon, was passieren kann, wenn nicht rechtzeitig gehandelt wird. Es verhilft zudem im Umgang mit dem Klimawandel einen risikobasierten Weg einzuschlagen.

Der passende Umgang mit dem Klimawandel stellt eine grosse Herausforderung dar. Die anhaltenden Veränderungen mit teils ungewissen Folgen machen daraus eine jahrzehntelange Daueraufgabe. Gelingt es bereits frühzeitig und angemessen zu reagieren, so können hohe Kosten vermieden und gleichzeitig Nutzen ausgeschöpft werden.

1.2 Methoden

Das vorliegende Arbeitspapier präsentiert eine Auslegeordnung möglicher Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Graubünden um das Jahr 2060 (genauer: für die Jahre von 2045 bis 2074, vgl. CH2011, 2011). Es basiert auf den Methoden von EBP/SLF/WSL (2013a), auf Einschätzungen von Geo7 (2015) und ist in Anlehnung an die Fallstudien der Kantone Aargau, Uri und Basel-Stadt verfasst worden (vgl. EBP/SLF/WSL, 2013b; INFRAS und Egli Engineering AG, 2014a, 2014b).

Klimaszenarien

Für die Analyse der Risiken und Chancen sind im Wesentlichen drei Arbeitsschritte nötig, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Als erstes muss eine möglichst klare Vorstellung darüber gewonnen werden, wie sich das Klima im Kanton Graubünden in Zukunft entwickeln wird. Dazu werden bestehende Klimaszenarien beigezogen. Die Klimaszenarien werden durch Spezialistinnen und Spezialisten auf der Grundlage der bisherigen klimatischen Verhältnisse und dem erwarteten zukünftigen Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre entworfen (vgl. CH2011, 2011; Zubler et al., 2014). Da der zukünftige Treibhausgasgehalt in der Atmosphäre ungewiss ist (er hängt stark davon ab, wie wirksam die Anstrengungen zum Schutz des Klimas sind) wurden vom Weltklimarat verschiedene Szenarien zu den Emissionen und den Konzentrationen an Treibhausgasen entwickelt (vgl. IPCC, 2015). Eines der Szenarien, das RCP3PD, rechnet damit, dass es gelingen wird, die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre bald massgeblich zu verringern. Dadurch würde sich die Atmosphäre bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 66 % um maximal zwei Grad erwärmen im Vergleich zur Temperatur vor dem Industriezeitalter. Ein anderes Szenario (Szenario A1B) rechnet demgegenüber damit, dass bis Mitte des Jahrhunderts immer mehr Treibhausgase ausgestossen werden. Durch deren erhöhte Konzentration in der Atmosphäre würde die Temperatur entsprechend stärker ansteigen.

Für diese beiden Emissionsszenarien wurden Klimaszenarien entwickelt. Das Klimaszenario, welches mit dem optimistischen Emissionsszenario RCP3PD rechnet, wird im Folgenden als 2060-schwach bezeichnet. Demgegenüber wird das Klimaszenario, welches auf A1B basiert, mit 2060-stark bezeichnet. Die beiden Szenarien unterscheiden sich im Wesentlichen in der Ausprägung des prognostizierten Wandels. Beide Szenarien besagen für 2060, dass im Vergleich zur Referenzperiode (1981 bis 2010):

- es im Durchschnitt um 1 bis 3 °C wärmer wird,
- die Hitzetage (Tage mit Temperaturen über 30 °C) häufiger werden, auch in höheren Lagen,
- die Frostereignisse seltener werden,
- es im Sommer und Herbst weniger regnen wird,
- es im Winter und Frühjahr mehr Niederschlag geben wird und vermehrt Regen statt Schnee,
- der Niederschlag möglicherweise häufiger intensiv sein wird,
- im Sommer mit längeren Trockenphasen zu rechnen ist,
- starke Stürme nicht häufiger werden, aber möglicherweise heftiger.

Diese Aussagen sind mit mehr oder weniger grossen Unsicherheiten behaftet. Dabei sind die Aussagen zu Veränderungen der Temperatur weniger unsicher als jene zum Niederschlag.

Gefahren und Effekte

Für die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels in Graubünden musste in einem zweiten Schritt eine möglichst klare Vorstellung darüber gewonnen werden, welche Folgen das veränderte Klima haben kann. Müssen wir damit rechnen, dass sich Naturgefahrenereignisse wie etwa Lawinen, Hochwasser oder Steinschlag in ihrer Häufigkeit oder ihrer Intensität ändern werden? Wie viel Schnee und Eis wird es in Zukunft im Hochgebirge noch geben? Für diese und ähnliche Fragen müs-

sen plausible Erklärungen gefunden werden. Diese Erklärungen wurden bei Expertinnen und Experten aus der Forschung und den Fachstellen des Kantons und des Bundes nachgefragt. Zudem wurde Fachliteratur möglichst mit Bezug zur Region beigezogen und auch gutachterliche Einschätzungen vorgenommen. So wird im Wesentlichen davon ausgegangen, dass als Folge des Klimawandels

- die Schneefallgrenze durch die wärmeren Temperaturen weiter ansteigen wird,
- Lawinen insgesamt weniger weit reichen werden, vor allem weil künftig die Schneebedeckung (Dauer, Fläche, Schneehöhe) weiter zurück gehen wird,
- Hochwasser tendenziell häufiger und bisweilen intensiver werden, insbesondere weil die Schneeschmelze früher einsetzen wird und mit zunehmenden Winter- oder Frühjahrsniederschlägen zusammentreffen kann,
- Steinschlag- und Felssturzereignisse tendenziell häufiger und bisweilen intensiver werden, weil durch die frühere Schneeschmelze, die zunehmenden Winterniederschläge, sowie den auftauenden Permafrost mehr Wasser im System sein wird und weil das schmelzende Eis lose Steine freigeben wird und die Kohäsion in Felsklüften schwindet,
- Waldbrände intensiver und allenfalls häufiger werden, weil es im Sommer trockener wird.

Ähnlich den Veränderungen des Klimas sind auch die oben beschriebenen Folgen mit mehr oder weniger grossen Unsicherheiten behaftet.

Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels untersucht in einem dritten Schritt die Folgen dieser Entwicklungen für Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt. Es prüft die folgenden Gefahren und Effekte:

- Veränderung der Mitteltemperatur
- Hitzewellen
- Frost
- Änderung des Niederschlagsregimes
- Trockenheit
- Reduktion der Schneedecke/Abschmelzen der Gletscher
- Auftauen Permafrost
- Lawinen
- Hochwasser (inklusive Überschwemmungen und Murgänge)
- Steinschlag/Felssturz/Bergsturz
- Waldbrand
- Orkan, Sturm

Auswirkungsbereiche

Die Wirkung dieser Gefahren und Effekte werden für verschiedene Auswirkungsbereiche analysiert. Es sind dies:

- Gesundheit
- Landwirtschaft
- Waldwirtschaft
- Energie
- Tourismus
- Infrastruktur/Gebäude
- Wasserwirtschaft
- Biodiversität

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt auf, welche Gefahren und Effekte in ihrem Einfluss auf welche Auswirkungsbereiche im vorliegenden Arbeitspapier untersucht werden.

Tabelle 1. Analyisierte Gefahren, Effekte und Auswirkungsbereiche. Die mit „X“ markierten Felder weisen auf die geprüften Schnittstellen hin.

Gefahr/Effekt	Veränderung Mitteltemperatur	Hitzewelle	Frost	Änderung Niederschlagsregime	Trockenheit	Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Lawinen	Hochwasser	Steinschlag/ Felssturz/ Bergsturz	Waldbrand	Sturm/ Orkan
Auswirkungsbereich												
Gesundheit	X	X				X		X	X	X		
Landwirtschaft	X		X		X				X			
Waldwirtschaft	X				X			X		X	X	X
Energie	X	X		X								
Tourismus		X				X		X				
Infrastruktur/ Gebäude				X			X	X	X	X		X
Wasserwirtschaft				X	X				X			
Biodiversität	X		X	X	X	X	X		X		X	

Definition der Risiken und Chancen

Die Wirkung der oben aufgeführten Gefahren und Effekte wird in Risiken und Chancen aufgeteilt. Das Risiko wird vereinfachend durch die drei Faktoren Gefährdung, Werte und Verletzlichkeit bestimmt. Die Gefährdung wird im vorliegenden Arbeitspapier durch die acht Gefahren und Effekte repräsentiert. Werte sind Personen, Infrastrukturen etc. die der Gefährdung ausgesetzt sind. Die Verletzlichkeit definiert den Schadensgrad, welchen die Werte erleiden, wenn sie einer Gefährdung ausgesetzt sind. Eine Veränderung des Klimas im Sinne der meteorologischen Parameter bewirkt eine veränderte Gefährdung, etwa wenn die Intensität oder die Häufigkeit einer Gefahr zu- oder abnimmt. Die Risiken und Chancen werden entsprechend im Sinne einer Veränderung gegenüber heute bewertet.

Chancen sind schwieriger zu beziffern als Risiken. Sie müssen gesucht und genutzt werden, damit ein volkswirtschaftlicher Mehrwert generiert werden kann. Die Chancen werden beziffert indem abgeschätzt wird, wie die Wertschöpfung als Folge des Klimawandels gesteigert werden kann. Im Fall der Biodiversität wird statt der Wertschöpfung die Überlebensfähigkeit der Nachkommen als Mass angenommen.

Ob eine Gefahr oder ein Effekt des Klimawandels zu einem Risiko wird oder eher eine Chance darstellt, ist eine Frage des Standpunktes. Im vorliegenden Arbeitspapier wurde deshalb für den Entscheid, ob eine Veränderung als Risiko oder Chance einzustufen ist, ein gesellschaftlicher und klimapolitischer Standpunkt eingenommen.

Monetarisierung Erwartungswerte

Die Risiken und Chancen werden monetarisiert. Dazu muss der heutige Erwartungswert ermittelt werden. Wie viel Schaden richten Lawinen jährlich an? Wie viele Todesopfer fordert eine Hitzewelle? Wieviel Menschen müssen in der Regel bei Hochwasser evakuiert werden?

Um die heutige Situation zu beziffern, werden Daten zu vergangenen Ereignissen, Angaben aus der Literatur, Expertenmeinungen und eigene Einschätzungen beigezogen. Nicht alle verfügbaren Informationen bilden gleichzeitig Kosten ab. Dies betrifft Angaben etwa zur Anzahl evakuierter Personen in einem Ereignisfall, oder zu Verletzten und zu Todesopfern. Diese Angaben müssen mithilfe eines Umrechnungsschlüssels in Frankenbeträge umgerechnet werden (vgl. EBP/SLF/WSL, 2013a).

Für einige Gefahren, Effekte und Auswirkungsbereiche fehlen schlüssige Informationen, um den Erwartungswert zu beziffern. Dies ist beispielsweise bei der Wirkung von Trockenheit auf die Wasserversorgung der Fall oder allgemein bei der Biodiversität. In diesen Fällen werden die Erwartungswerte ausschliesslich geschätzt. Als Anhaltspunkte für die Schätzwerte werden datenbasierte Erwartungswerte anderer Gefahren und Effekte desselben Auswirkungsbereiches herbeigezogen. Diese Erwartungswerte werden in die drei Klassen klein (minimaler Erwartungswert des Auswirkungsbereichs), mittel (Mittelwert über alle berechneten Erwartungswerte), gross (maximaler Erwartungs-

wert) eingestuft. Der fragliche Erwartungswert wird jeweils einer dieser drei Klassen zugewiesen. Im Auswirkungsbereich Biodiversität werden die drei Klassen über die Erwartungswerte der Gefahren und Effekte aller Auswirkungsbereiche ermittelt.

Berechnung zukünftiger Risiken und Chancen

Die Erwartungswerte müssen schliesslich in das Jahr 2060 projiziert werden. Dazu werden sie mit den Szenarien der verschiedenen Gefahren und Effekte und mit den relevanten Klimaszenarien verknüpft. Die Veränderung der Gefahren und Effekte wird aufgrund der Klimaszenarien und von Angaben aus der Literatur abgeschätzt. Für die Einordnung der Schätzwerte wurde vorgängig eine Skala mit fünf Stufen definiert. Sie entsprechen dem jetzigen Zustand (0 % Veränderung), geringen (plus/minus 10 %), mässigen (plus/minus 25 %), erheblichen (plus/minus 50 %), oder grossen (plus/minus 75 %) Veränderungen. Aus der Verknüpfung des heutigen Erwartungswertes mit den veränderten Gefahren und Effekten ergeben sich die gesuchten Veränderungen der Risiken und Chancen des Klimawandels.

Rahmenbedingungen

Die Risiken und Chancen des Klimawandels werden in vereinfachten Rahmenbedingungen analysiert (vgl. EBP/SLF/WSL, 2013a). So werden die gesellschaftlichen Entwicklungen bei der Analyse bewusst ausgeblendet. Ob nun die Bevölkerung älter und damit auf Hitze anfälliger wird, oder ob der Wert der Gebäude und der Infrastruktur zunimmt fliesst nicht in die Berechnungen mit ein. Diese gesellschaftlichen Entwicklungen werden erst bei der Diskussion der Ergebnisse eingebracht und gegen Ende der Synthese vertieft betrachtet. Zudem werden keinerlei zukünftige Massnahmen der Anpassung an den Klimawandel berücksichtigt. Ob also mehr Kunstschnee produziert wird um Gäste zu gewinnen oder ob Schutzdämme gebaut werden um Gebäude und Infrastruktur vor Murgängen zu schützen bleibt aussen vor. Weiter werden soweit möglich nur die direkten Schäden oder Erträge berücksichtigt, obschon Einzelereignisse ganze Ereignisketten auslösen können. Die klimabedingte Veränderung von Extremereignissen ist zudem nur soweit berücksichtigt, als sie sich bereits in den bestehenden Daten widerspiegelt. Vorstellbare aber sehr unwahrscheinliche Ereignisse werden zwar kurz diskutiert, aber nicht eingehend analysiert.

Die Gefahren und Effekte des Klimawandels sind im vorliegenden Arbeitspapier nicht vollständig analysiert und dargestellt. Es vermag deshalb nur eine Orientierungshilfe über die Folgen des Klimawandels für den Kanton Graubünden zu geben.

1.3 Unsicherheiten

Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Dies hat viele Ursachen. Unsicherheiten ergeben sich aus der prognostizierten Entwicklung der Gefahren und Effekte, aus der Berechnung der Risiken und Chancen, aus den verwendeten Daten, den statistischen Analysen oder aus dem Prozessverständnis (Einfluss der Gefahren und Effekte auf die Auswirkungsbereiche). Zudem werden Extremereignisse der Naturgefahren oder komplexe Wirkungsketten kaum angemessen berücksichtigt. Diese Unsicherheiten verhindern präzise Ergebnisse. Um in Zukunft die Unsicherheiten besser eingrenzen zu können gilt es die Entwicklung des Klimas und der damit verbundenen Gefahren und Effekte weiter zu beobachten und zu erforschen.

1.4 Risiken und Chancen des Klimawandels

Synthese der Risiken und Chancen

Die Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Graubünden zeigen bedeutende Ausmasse. Alle analysierten Risiken zusammengezählt, erreichen diese im Jahr 2060 rund 38 Mio. Franken (respektive zwischen rund 17 und 74 Mio. Franken) mehr als heute. Dies falls es gelingt die Emissionen erheblich zu drosseln. Indirekte Schäden, Extremereignisse oder ganze Wirkungsketten sind dabei nicht mit eingerechnet. Zudem wurden auch keine gesellschaftlichen Veränderungen in die Analyse einbezogen. Geht die Entwicklung der Treibhausgasemissionen weiter wie bisher, so muss gar mit einer Zunahme der Risiken um 71 Mio. Franken pro Jahr gerechnet werden (respektive 35 bis 142 Mio. Franken).

2060-schwach

	Risiken	Reduzierte Risiken	Chancen	Bilanz
Gesundheit	Red	Yellow	White	Red
Landwirtschaft	Light Red	Yellow	Light Green	Light Red
Wald/Waldwirtschaft	Light Red	Yellow	Light Green	Light Red
Energie	Light Red	Yellow	Green	Green
Tourismus	Red	Yellow	Light Green	Red
Infrastruktur, Gebäude	Light Red	Yellow	White	Light Red
Wasserwirtschaft	Light Red	Yellow	White	Light Red
Biodiversität	Red	White	Green	White

2060-stark

	Risiken	Reduzierte Risiken	Chancen	Bilanz
Gesundheit	Red	Yellow	White	Red
Landwirtschaft	Light Red	Yellow	Light Green	Light Red
Wald/Waldwirtschaft	Light Red	Yellow	Light Green	Light Red
Energie	Light Red	Yellow	Green	Green
Tourismus	Red	Yellow	Light Green	Red
Infrastruktur, Gebäude	Light Red	Yellow	White	Light Red
Wasserwirtschaft	Light Red	Yellow	White	Light Red
Biodiversität	Red	White	Green	White

Legende

Risiken	0 bis -1	-1 bis -10	> -10	Mio. Franken
Reduzierte Risiken	0 bis 1	1 bis 10	> 10	Mio. Franken
Chancen	0 bis 1	1 bis 10	> 10	Mio. Franken

Abbildung 1. Entwicklung der Risiken und Chancen für die Szenarien 2060-schwach und 2060-stark in den analysierten Auswirkungsbereichen. Die grösste Zunahme der Risiken ist in den Auswirkungsbereichen Gesundheit, Tourismus und Biodiversität zu erwarten. Am meisten reduzieren sich Risiken im Auswirkungsbereich Energie. Gleichzeitig werden dort und bei der Biodiversität auch die grössten Chancen erwartet.

Die Risiken nehmen gemäss der vorliegenden Analyse im Kanton Graubünden um einen Betrag zu, welcher bei rund 0.15 bis 1.2 % des kantonalen BIP liegt. Sie erreichen damit vergleichbare bis deutlich höhere Werte als schweizweit erwartet (0.15 % des BIP, vgl. BAFU, 2012b).

Die Analyse erwartet für einige bestehende Risiken durch den Klimawandel geringere Schadenswerte. Insgesamt wurden rückläufige Risiken im Umfang von rund 22.5 Mio. Franken (Unsicherheitsbereich 11 bis 24 Mio. Franken) respektive 45 Mio. Franken berechnet (Unsicherheitsbereich 22 bis 90

Mio. Franken). Aus einigen Gefahren oder Effekten des Klimawandels könnten sich theoretisch Chancen entwickeln. Diese könnten gemäss den Annahmen im Jahr 2060 rund 28 (14 bis 56) Mio. Franken bis 61 (30 bis 122) Mio. Franken pro Jahr erreichen.

Synthese der Auswirkungsbereiche

Die Risiken und Chancen aufgrund des Klimawandels entwickeln sich in den verschiedenen Auswirkungsbereichen sehr unterschiedlich. Die bedeutendste Zunahme der Risiken ist in den Auswirkungsbereichen Gesundheit, Tourismus und Biodiversität zu erkennen (vgl. Abbildung 1).

Die Zunahme gesundheitlicher Risiken geht in erster Linie von den erwartungsgemäss zunehmenden Hitzewellen aus. Diese könnten vermehrt Herzkreislauf- und respiratorische Probleme herbeiführen und gar Tote fordern. Diese Risiken bestehen vor allem in den wärmsten Gebieten des Kantons, also in den Tallagen der Region Chur und im unteren Misox. Die Gefahr, welche von Hitzewellen aus geht, gilt es allerdings auch zunehmend in höheren Regionen zu beachten. Die Verletzlichkeit der Bevölkerung scheint nämlich im hitzereichen Süden weniger gross zu sein (Grize et al., 2005), wahrscheinlich weil die Bevölkerung bereits besser an sie angepasst ist. Generell sind durch Hitze ältere und pflegebedürftige Menschen am Stärksten gefährdet. Mit der zunehmenden Alterung der Bevölkerung kann sich das Risiko entsprechend verschärfen. Es gilt somit in den am stärksten betroffenen Regionen gefährdete Personengruppen und ihr Umfeld zu sensibilisieren, bei Hitzegefahr zu warnen und vorsorgliche Massnahmen zu treffen.

Die Zunahme der Risiken im Tourismus geht vom erwarteten Rückgang der Schneedecke aus. Die steigenden Temperaturen lassen die Schneefallgrenze weiter ansteigen und verkürzen die Dauer einer geschlossenen Schneedecke vielerorts im Kanton. Auch die Rahmenbedingungen für die Produktion von Kunstschnee werden durch die steigenden Temperaturen erschwert (Rixen et al., 2011). Dies stellt eine für den Schneesport ausreichende Schneedecke mehr und mehr in Frage, zumindest in tiefer gelegenen Regionen. Bei anhaltender Fokussierung auf den Schneesport könnte dies dort zu einem erheblichen Rückgang der Gästezahlen führen. Angesichts der grossen Bedeutung des Wintertourismus als Arbeitgeber und Einkommensquelle auch in abgelegenen Regionen des Kantons gilt es die strategischen Vorteile Graubündens als Ferienregion hervorzuheben und neue Angebote zu entwickeln, im Einklang mit den veränderten klimatischen Bedingungen.

Die Biodiversität nimmt im Klimawandel gemäss der vorliegenden Betrachtungsweise eine Sonderstellung ein. Die Risiken welche der Klimawandel für die verschiedenen Organismen, ihre genetische Komposition und die Lebensräume herbeiführt, sind gleichzeitig Chancen für jene Elemente der Biodiversität, welche die neuen klimatischen Bedingungen bevorzugen. So können längere Trockenphasen dazu führen, dass Moore austrocknen und die dort vorkommenden oft seltenen Arten verdrängt werden – zugunsten periodisch austrocknender Feuchtgebiete und ihrer ebenfalls zuweilen seltenen Organismen. Allgemein scheint das Thema Biodiversität im Klimawandel nur schwer abschätzbar. Bedeutende Mechanismen wie Toleranz gegenüber ändernden Standortsbedingungen, Anpassungsfähigkeit oder Migration sind erst wenig erforscht. Nicht zuletzt deshalb braucht die Biodiversität Raum, damit die Organismen einen ausreichenden Genpool verfügbar haben um sich dem Wandel anzupassen. Mit der anhaltenden Intensivierung der Raumnutzung und dem Verschwinden naturnaher Standorte wird dieser Voraussetzung entgegengewirkt, mit unabsehbaren Folgen für die Biodiversität im Kanton. Deshalb gilt es Veränderungen der Raum- und Ressourcennutzung im Auge zu behalten und bei Bedarf Massnahmen zu ergreifen, welche der Biodiversität genügend Raum zur Verfügung stellen.

Nebst diesen Auswirkungsbereichen mit grossen Risiken müssen auch sämtliche anderen Auswirkungsbereiche mit zusätzlichen Risiken rechnen. Zunehmende Starkniederschläge (ihre Entwicklung ist noch sehr unklar) vergrössern die Risiken für Schäden durch Naturgefahren wie Hochwasser oder Murgang. Im Umgang mit den Naturgefahren gilt es deshalb das integrale Risikomanagement zu verstärken. Mehr und schwerer Nassschnee könnte zu neuartigen Schäden an Infrastruktur und Gebäuden führen. Zunehmende Trockenheit im Sommer könnte den Ertrag in der Land- und Landwirtschaft

schmälern und zu Engpässen in der Wasserversorgung führen. Eine standortgerechte Produktion in der Land- und Waldwirtschaft ist anzustreben und die Versorgungssicherheit mit Wasser zu stärken.

Nebst zunehmenden Risiken verursacht der Klimawandel im Kanton Graubünden aber auch einen Rückgang einiger bestehender Risiken und bringt neue Chancen mit sich. Der Auswirkungsbereich mit den mit Abstand grössten rückläufigen Risiken und zugleich den grössten Chancen ist die Energie. Zum einen ist dies darauf zurückzuführen, dass in den kommenden Jahrzehnten der Wasserabfluss im Gebirge zunimmt, insbesondere im Winterhalbjahr. In dieser Jahreszeit werden die Niederschläge zunehmen und vermehrt als Regen fallen, statt als Schnee. Die Schnee- und Eisschmelze wird zudem früher im Jahr einsetzen. Von diesen Rahmenbedingungen können grössere Wasserkraftwerke mit Einzugsgebieten im Gebirge profitieren (vgl. Hänggi, 2011). Durch die zunehmend wärmeren Temperaturen muss in Zukunft weniger geheizt werden, um angenehme Raumtemperaturen zu erreichen. Gerade im Kanton Graubünden fällt dies in ins Gewicht, denn hier stehen vergleichsweise viele Wohnbauten in höheren und damit kühlen Lagen.

Der Tourismus sieht sich im Klimawandel nicht nur mit zunehmenden Risiken konfrontiert. Die erwartete Änderung des Niederschlagsregimes (weniger Regen im Sommer) und längere Hitzeperioden in den Tallagen könnten für die Berggebiete zu einer Chance werden. Bewohnerinnen und Bewohner der Tallagen könnten während Hitzewellen ins kühlere Berggebiet ausweichen. Bergbahnen und das Gastgewerbe würden davon profitieren. Längere Schönwetterperioden könnten generell mehr Gäste ins Gebirge locken, statt beispielsweise an Destinationen im heissen Mittelmeerraum.

Auch in der Land- und Waldwirtschaft sind Chancen ersichtlich. Bei wärmeren Temperaturen wachsen die Kulturpflanzen rascher und der Ertrag und allenfalls auch die Qualität kann zunehmen. Die Existenzgrenze von Laub- und Nadelbäumen verschiebt sich durch die längere Vegetationszeit in höhere Lagen, so dass sich der Wald an der oberen Waldgrenze allmählich ausdehnen kann. Dies kann sich auch positiv auf den Schutz vor Lawinenanrissen auswirken. Nicht nur deshalb ist ein Rückgang der Risiken aus Lawinen zu erwarten. Mehr Regen statt Schnee verringert die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen. Nassschneelawinen weisen zudem eine geringere Reichweite aus als trockene Lawinen.

Die aufgeführten Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Graubünden sind nicht vollständig. Denn das Klima wandelt sich nur langsam und etliche damit verbundenen Gefahren und Effekte bleiben zunächst unbemerkt. Deshalb gilt es, den Klimawandel laufend zu beobachten und zu dokumentieren. Die Analyse der Daten ermöglicht es, Trends frühzeitig zu erkennen und gezielt passende Massnahmen zu ergreifen.

1.5 Handlungsbedarf

Die Ergebnisse zeigen, dass die Risiken des Klimawandels in Zukunft viel kosten werden, wenn nicht rechtzeitig passende Massnahmen ergriffen werden. Zudem könnten die Chancen des Klimawandels grösser sein, wenn sie frühzeitig wahrgenommen würden.

Um die Anpassung an den Klimawandel zu leiten, werden im vorliegenden Arbeitspapier den Risiken und Chancen sogenannte Handlungsfelder zugewiesen (vgl. ANU, 2015a; BAFU, 2012b). Die Handlungsfelder umreissen den thematischen Bereich der Massnahmen, welche eine Anpassung an den Klimawandel unterstützen. In der Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 4 werden jeweils passende Handlungsfelder aufgelistet. In diesem Kapitel wird dies kurz bilanziert.

Die Handlungsfelder werden unterschiedlich häufig zitiert. Besonders oft verwiesen wird auf B2 Lebensräume und Arten (15mal), N5 Schutzwald (10), W5 Restwasser (7), T102 Infrastruktur im Hochgebirge (7), und R3LR Naturgefahren (vgl. Kapitel 4). Nur selten (null- bis einmal) wird auf N8 Konvektive Stürme, N9 Permanent aktive Rutschungen, F1 Kritische Schutzwälder, F4 Übrige Waldstandorte, G2T Hitze (Tier), R1UR Lebensqualität, R4UR Energie/Wasser (urbaner und suburbaner Raum) und L6 Preisvolatilität verwiesen.

Die Anzahl Verweise auf die Handlungsfelder spiegelt ihre Vernetzung mit verschiedenen Aspekten des Klimawandels. So wird in der Diskussion in sechs von acht Auswirkungsbereichen auf das Thema Restwasser verwiesen (Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Wasserwirtschaft, Biodiversität), Arten und Lebensräume gar in sieben von acht (Ausnahme: Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude). Selten aufgeführte Handlungsfelder sind entweder sehr spezifisch (z. B. L6 Preisvolatilität) oder der Zusammenhang mit dem Klimawandel ist ungewiss (z. B. N9 Permanent aktive Rutschungen). Ein Blick auf die Anzahl Verweise zu Handlungsfeldern der einzelnen Gefahren/Effekte zeigt ebenfalls die Vernetzung des Themas an. So sind etwa zu Trockenheit am meisten Handlungsfelder aufgeführt, während auf das Auftauen des Permafrosts am wenigsten verwiesen wird (vgl. Tabelle 2).

Die Handlungsfelder wie sie im vorliegenden Arbeitspapier verwendet werden zeigen in erster Linie die Vernetzung des Themas an. Sie zeigen, welche Aspekte tangiert werden, wenn an der Schnittstelle zwischen einer Gefahr oder einem Effekt und dem Auswirkungsbereich Massnahmen in Betracht gezogen werden. Dies gilt es bei der Umsetzung der Massnahmen zu beachten.

Tabelle 2. Anzahl Handlungsfelder, auf welche an den analysierten Schnittstellen zwischen einer Gefahr/einem Effekt und dem Auswirkungsbereich verwiesen wird (vgl. im Kapitel 4).

Gefahr/Effekt \ Auswirkungsbereich	Veränderung Mitteltemperatur	Hitzewelle	Frost	Änderung Niederschlagsregime	Trockenheit	Red. Schneedecke, Gletscher	Auftauen Permafrost	Lawinen	Hochwasser	Steinschlag/ Felssturz/ Bergsturz	Waldbrand	Sturm/ Orkan
Gesundheit	6	8				2		3	3	5		
Landwirtschaft	6		2		9				8			
Waldwirtschaft	5				4			7		4	8	4
Energie	1	5		8								
Tourismus		6				6		5				
Infrastruktur, Gebäude				4			5	6	6	5		5
Wasserwirtschaft				6	10				7			
Biodiversität	14		6	3	11	6	2		4		5	

1.6 Gesellschaftlicher Wandel

Bis ins Jahr 2060 wird sich nicht nur das Klima, sondern auch die Gesellschaft erheblich verändern. Im vorliegenden Arbeitspapier werden mögliche Entwicklungen zwar diskutiert, sie werden jedoch nicht in die Analyse mit einbezogen. Dadurch sind die resultierenden Risiken und Chancen auch gemäss ihrer Definition unvollständig. Im folgenden Abschnitt werden einige Aspekte des gesellschaftlichen Wandels herausgegriffen und es wird beschrieben wie sie die Risiken und Chancen des Klimawandels beeinflussen.

Bevölkerungsstruktur

Die steigende Lebenserwartung und die gleichzeitig sinkende Geburtenrate führen dazu, dass sich die Bevölkerungsstruktur hin zu mehr älteren Einwohnerinnen und Einwohnern verschieben wird (vgl. BFS, 2010; ARE, 2014). Damit werden möglicherweise mehr pflegebedürftige Menschen im Kanton leben. Sie sind erwartungsgemäss höheren Risiken ausgesetzt, wie sie etwa Hitzewellen mit sich bringen (vgl. Grize et al., 2005). Diese Entwicklung der Bevölkerungsstruktur erhöht die Verletzlichkeit der Gesellschaft und damit das Risiko für gesundheitliche Effekte des Klimawandels.

Siedlungsfläche und Gebäudewert

Die Bevölkerung beansprucht immer mehr Wohnfläche und Siedlungsraum. Gleichzeitig steigt der Wert des Bodens und der Bauten an. Allein in den letzten sieben Jahren hat sich der Versicherungswert der Gebäude in Graubünden von 80 Mia. Franken um 25 % auf 100 Mia. Franken erhöht (vgl. Kapitel 4.8.1). Die Ausdehnung der Siedlungsfläche und die Wertsteigerung der Gebäude werden die Risiken durch Naturgefahren erheblich verstärken (vgl. Tobler und Ackermann, 2013).

Umweltinfrastruktur

Unsere Umweltinfrastruktur ist sehr gut ausgebaut (vgl. Kapitel 4.8.1 und BAFU, 2012). Schutzbauten wie etwa Lawinenverbauungen, Geschiebefänger oder Hochwasserschutzdämme wurden und werden errichtet, um das Risiko für Schäden durch Naturereignisse zu verringern. Sie sind in der Regel auf seltene Ereignisse ausgelegt. Die Schutzbauten – und auch organisatorische und planerische Schutzmassnahmen – werden auch in Zukunft weiter ausgebaut. Dadurch reduzieren sich die Risiken aus Naturgefahren, was allerdings seinen Preis hat.

Ressourcennutzung

Land, Boden und Wasser werden für die landwirtschaftliche Produktion oder als Skipisten genutzt, oder sie werden gebraucht, um die Bevölkerung mit Trinkwasser zu versorgen oder um Strom zu gewinnen. Diese natürlichen Ressourcen werden in steigendem Umfang genutzt. Die versiegelte Bodenfläche beispielsweise hat seit Mitte der 1980er Jahre um ein Viertel zugenommen (BFS, 2015). Zunehmender Wasserverbrauch verschiedenster Nutzer beispielsweise erhöht die Gefahr, dass Gewässer übernutzt werden (Restwasser, Absenken der Grundwasseroberfläche). Während Trockenphasen kann es daher vermehrt zu Zielkonflikten rund um die Nutzung und den Verbrauch von Wasser kommen (Stromproduktion, landwirtschaftliche Bewässerung, Trink- und industrielles Brauchwasser). Eine unkoordinierte Nutzung der Ressourcen steigert die Risiken des Klimawandels.

(Inter-)Nationale Konkurrenz

Für den Kanton Graubünden ist der Wintertourismus ein ausserordentlich wichtiger Wirtschaftsfaktor. Die Schneegrenze steigt auch in Zukunft weiter an und stellt damit die Schneesicherheit in einigen Wintersportregionen infrage. Gleichzeitig drängen neue Skigebiete mit vergleichsweise günstigen Angeboten auf den Markt, etwa in Osteuropa. Die internationale Konkurrenz dürfte die Risiken des Klimawandels gerade im Wintertourismus zusätzlich erhöhen.

Globaler Handel und Güterverkehr

Über den globalen Handel sind in der Vergangenheit immer wieder Organismen eingeschleppt worden, welche als Parasiten, Pathogene oder Konkurrenten heimische Pflanzen und Tiere gefährden. Beispiele sind etwa der Japanische Knöterich, welcher ganze Ufersäume überwuchert und die standorttypische Flora verdrängt. Die Ambrosia, eine Pflanze aus Nordamerika, kann beim Menschen zu heftigen allergischen Reaktionen führen. Die asiatische Tigermücke schliesslich kann Tropenkrankheiten verbreiten. Trotz erhöhter Kontrollen werden auch in Zukunft weitere Organismen eingeschleppt, welche für uns Menschen, für die einheimische Flora und Fauna und für die Land- und Waldwirtschaft neue Risiken darstellen.

Waldfläche

Die Waldfläche nimmt stetig zu, bei gleichzeitig rückläufiger landwirtschaftlicher Nutzung. Sie vergrössert sich auch deshalb, weil die Bäume an der oberen Waldgrenze mit steigender Temperatur ihr Areal gegen oben ausweiten. Mehr Bäume vergrössern den Wert des Waldes und sie vermindern gleichzeitig das Risiko, welches von Naturgefahren ausgeht. Zum Beispiel verhindern Bäume den Anriss von Lawinen, oder sie halten stürzende Steine auf. Durch die zunehmende Waldfläche wird sich die Bedeutung des Waldes vergrössern und gleichzeitig verkleinert sich das Risiko einiger Naturgefahrenprozesse.

Umweltzustand

Eine intakte Umwelt ist Voraussetzung dafür, dass Organismen unter neuen Lebensbedingungen weiter existieren können. Viele Organismen sind denn auch in der Lage, sich an eine veränderte Umwelt anzupassen, sei es genetisch, plastisch oder indem sie ihr Verbreitungsgebiet ändern. Die dazu notwendige freie Dynamik wird aber immer mehr eingeschränkt. Die anhaltend schwindenden Lebensräume verringern die Vielfalt der Arten und ihre genetische Struktur. Die Anstrengungen der letzten Jahrzehnte, um die biologische Vielfalt zu erhalten, haben zwar Wirkung erzielt; sie konnten aber mit den anhaltenden oder gar weiter zunehmenden Bedrohungen nicht Schritt halten (vgl. Fischer et al., 2014). So gingen zwischen 1987/1988 und 2009/2010 im Engadin mehr als 20 % der für die Biodiversität besonders wertvollen Wiesen wegen Nutzungsintensivierung verloren. Durch solche Eingriffe werden Lebensräume, Artenvielfalt und Genpool verringert, was ihre Verletzlichkeit und damit ihr Risiko im Klimawandel erhöht.

Bruttoinlandprodukt BIP

Die Bereitschaft vorsorglich Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu treffen, hängt wohl auch von der Zahlungsfähigkeit ab. Das BIP des Kantons Graubündens beträgt derzeit rund 11.5 Mia. Franken (GKB und AWT, 2013) und der Kanton ist Nettoempfänger im föderalen Finanzausgleich. Ein niedrigeres BIP der Schweiz könnte sich überproportional auf Graubünden auswirken und damit seine Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel einschränken. Die Risiken des Klimawandels werden ansteigen, wenn das Geld für Anpassungsmassnahmen fehlt.

1.7 Umgang mit Risiken und Chancen des Klimawandels

Das vorliegende Arbeitspapier beschreibt die Risiken und Chancen des Klimawandels für Graubünden. Es stellt die Grundlagen für einen angemessenen Umgang mit dessen Folgen bereit und bildet damit einen wichtigen Pfeiler der kantonalen Klimastrategie (vgl. ANU, 2015c).

Der angemessene Umgang mit dem Klimawandel ist eine ausgeprägte Querschnittsaufgabe. Er verlangt, dass fachübergreifend geplant wird, und dass in der Umsetzung die Fachbereiche eng zusammenarbeiten. Um möglichst effektive Wirkung zu erzielen, gilt es weitere Anforderungen zu erfüllen. So sollten die Massnahmen verhältnismässig sein. Zudem gilt es bei ihrer Wahl zu berücksichtigen, welche Folgen sie in anderen Sektoren bzw. Auswirkungsbereichen zeigen (vgl. ANU, 2015c).

Ziel der Anstrengungen bei der Anpassung an den Klimawandel ist es, die Risiken zu reduzieren und die Chancen zu nutzen. Gemäss derzeitiger Gesetzgebung ist der Umgang mit Risiken vor allem Sache des Staates (vgl. beispielsweise Waldgesetz Art. 36), auch wenn im Ereignisfall Private oftmals den grössten Anteil der Kosten tragen. Operativ sind die Gemeinden und Kantone gefordert, während dem Bund eine unterstützende und koordinierende Funktion zukommt. Die Kantone organisieren sich ihrerseits bestmöglich, um die Risiken für den Einzelnen erträglich zu machen. So haben die meisten Kantone bereits vor über 100 Jahren ein Versicherungssystem zur raschen Behebung von Elementarschäden geschaffen. Damit unterstützen sie Gebäudebesitzer, ihre Bauten nach einem Elementar-(Natur-)Ereignis wieder instand zu setzen. Die Gebäudeversicherungen haben in den einzelnen Kantonen das Monopolrecht und binden die Gebäudebesitzer obligatorisch ein. Solidarität unter den Kantonen sorgt weiter für einen gewissen Risikoausgleich. Ist in Zukunft mit vermehrten Risiken zu rechnen, resultieren sowohl für den Staat, wie auch für den privaten Gebäudebesitzer höhere Kosten. Die in der Schweiz wohl eingespielte Solidarität in der Risikominderung und in der Ereignisbewältigung bildet auch im Umgang mit den negativen Auswirkungen der Klimaveränderung einen wichtigen Pfeiler.

Die Frage stellt sich nun wie der Staat mit Entwicklungen des Klimawandels umgeht, welche bestehende Kosten reduzieren oder neue Erträge generieren. Auch hier ist es vorstellbar, dass sie solidarisch genutzt werden. Dies würde bedeuten, dass der Staat Massnahmen finanziell unterstützt. Umgekehrt wäre er aber auch an allfälligen Gewinnen beteiligt. Geht man z. B. davon aus, dass eine mögliche Massnahme darin besteht, ältere Menschen über die Sommerzeit in höheren und kühleren Regionen unterzubringen, so müsste ihnen entsprechender Raum zum Aufenthalt zu tragbaren Bedingungen zur Verfügung gestellt werden (Chance für den Sommertourismus im Berggebiet und gleichzeitig vermindertes Risiko durch Hitzewellen besonders betroffene Bewohnerinnen und Bewohner der Tallagen). In Analogie zu Hochwasser oder Lawinen, wo die Massnahmen zur Risikoreduktion weitgehend vom Staat getragen werden (Ausnahmen bilden die Kosten für den Objektschutz in der blauen Zone, die vom Grundeigentümer zu tragen sind), wäre ein Modell denkbar, in dem der Staat den Aufenthaltsraum zumindest mitfinanziert. Damit fördert er die Chancen des Sommertourismus im Berggebiet, und reduziert gleichzeitig das Risiko aus Hitzewellen.

Die Umsetzung der Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in den Kantonen hat gerade erst begonnen. Analog zur Forschung im Bereich der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gefahren und Effekte wird auch die Evaluation der Massnahmen neue Erkenntnisse zur Klimaanpassung liefern.

2 Orientierung

2.1 Risiken und Chancen des Klimawandels als dritter Teil der kantonalen Klimastrategie

Anfang 2013 trat das geänderte Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) in Kraft. Darin ist die Verminderung der Treibhausgase als vordringliches Ziel zum Schutz des Klimas verankert. Daneben wird im CO₂-Gesetz die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels als zusätzliches Erfordernis im Umgang mit dem Klimawandel formuliert. So erhält der Bund den Auftrag, Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu koordinieren und die notwendigen Grundlagen bereit zu stellen (Art. 8 CO₂-Gesetz).

Die Koordination sämtlicher Anpassungsmassnahmen im Klimabereich obliegt gemäss Art. 15 Abs. 1 der Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen vom 30. November 2012 (CO₂-Verordnung) dem BAFU. Es müssen dabei kantonale Anpassungsmassnahmen berücksichtigt werden. Die Kantone ihrerseits sind verpflichtet, das BAFU regelmässig über den Stand und Fortschritt ihrer umgesetzten Anpassungsmassnahmen zu informieren (Art. 15 Abs. 3 CO₂-Verordnung).

Der gesetzliche Auftrag zur Koordination von Klimaanpassungsmassnahmen und zur Bereitstellung der für die Anpassung notwendigen Grundlagen wird in der Klimaanpassungsstrategie des Bundesrates umgesetzt (vgl. BAFU, 2012b). Ihr erster Teil, den der Bundesrat am 2. März 2012 verabschiedet hat, enthält die Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder für die neun Sektoren Wasserwirtschaft, Umgang mit Naturgefahren, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Biodiversitätsmanagement, Gesundheit sowie Raumentwicklung. Für jeden dieser Sektoren werden die wichtigsten Handlungsfelder zur Anpassung identifiziert, Anpassungsziele formuliert und die Stossrichtungen für die Erreichung dieser Ziele skizziert. Der zweite Teil der Strategie wurde vom Bundesrat am 9. April 2014 verabschiedet (vgl. BAFU, 2014d). Es handelt sich dabei um einen Aktionsplan mit insgesamt 64 Massnahmen für die Jahre 2014 bis 2019. Ihre Umsetzung soll im Rahmen der Sektoralpolitiken (Energie-, Umwelt-, Sozial- und Gesundheitspolitik) erfolgen.

Die Massnahmen richten sich hauptsächlich an die Fachstellen des Bundes. Sie sind es, welche die Massnahmen umzusetzen haben. Vielfach wird dies jedoch nicht ohne enge Zusammenarbeit mit den Kantonen und deren Fachstellen bewältigt werden können, denn viele Handlungsfelder liegen im Kompetenzbereich der Kantone. Daneben sind verschiedene Massnahmen im Rahmen der Sektoralpolitiken bereits in Umsetzung. Auch hier sind die Kantone mehr oder weniger eingebunden und gefordert, wenn es im Sinne der Verhältnismässigkeit darum geht, möglichst effektive und effiziente Massnahmen sektorenübergreifend zu treffen.

Es ist nicht Absicht und Ziel des Bundes, mit seiner Klimaanpassungsstrategie auf die spezifischen Gegebenheiten in den einzelnen Kantonen einzugehen. Kantonale Analysen des Klimawandels sollen deshalb die Klimaanpassungsstrategie des Bundes ergänzen.

Der Kanton Graubünden unterstützt die Bemühungen des Bundes. Um die Herausforderungen, Ziele und Massnahmen im Umgang mit dem Klimawandel zu bündeln, hat die Regierung im Herbst 2014 die Verwaltung damit beauftragt, eine kantonale Klimastrategie zu erarbeiten. Dabei sollte die Klimastrategie des Kantons mit den vorgesehenen Massnahmen nach Möglichkeit der Strategie des Bundes folgen. Der Kanton Graubünden kann dazu auf zahlreiche eigene Vorarbeiten zurückgreifen (vgl. Abbildung 2).

Als Grundlage für die kantonale Klimastrategie dienen drei Arbeitspapiere. Diese behandeln die Risiken und Chancen des Klimawandels (vorliegendes Arbeitspapier) sowie die Herausforderungen und Handlungsfelder des Klimaschutzes (vgl. ANU, 2015b) und der Klimaanpassung (ANU, 2015a). Die kantonale Klimastrategie soll aufzeigen, wie die Risiken des Klimawandels gemindert, die Bevölkerung und deren Lebensgrundlagen geschützt und die Anpassungsfähigkeit der Systeme (Gesellschaft, Umwelt, Wirtschaft und Politik) gestärkt werden können. Die Klimastrategie soll zudem darlegen, wie die allfälligen Chancen genutzt werden können, welche sich aus dem Klimawandel ergeben können.

Sie soll aber auch aufzeigen, mit welchen Massnahmen der Kanton zur Senkung der Treibhausgasemissionen beitragen kann. Die Klimastrategie des Kantons Graubünden berücksichtigt somit sowohl den Klimaschutz als auch die Anpassung an den Klimawandel.

Die Abbildung 2 veranschaulicht das Konzept der kantonalen Klimastrategie. Die Strategie bildet das Dach des Gebäudes. Das CO₂-Gesetz und die CO₂-Verordnung sowie die Grundlagenberichte der MeteSchweiz über die Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011, 2011) und den Klimawandel in Graubünden (MeteoSchweiz, 2009; 2012) bilden das Fundament. Das Dach wird getragen von den Ecksäulen Klimastrategie Bund Teil I und Teil II (BAFU, 2012a; 2014d) und den Tätigkeitsberichten Graubünden 2009 und 2014 (ANU 2009; 2014a).

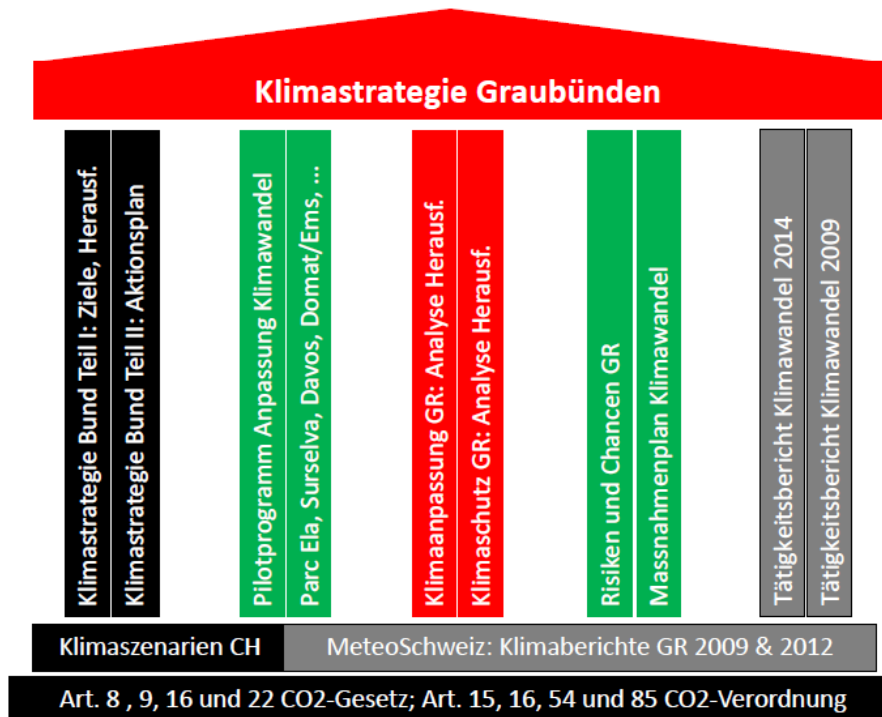


Abbildung 2. Elemente der Klimastrategie des Kantons Graubünden.

Die zentralen Säulen der kantonalen Klimastrategie bilden die Arbeitspapiere 1 und 2. Aus ihnen lässt sich der dringendste Handlungsbedarf im Umgang mit dem Klimawandel ableiten. Die Ergebnisse der Analysen werden zudem mit den Aufgaben, Tätigkeiten und Projekten der Verwaltung abgeglichen. Dadurch wird ersichtlich, wo weitere Massnahmen im Umgang mit dem Klimawandel nötig sind.

Der Handlungsbedarf wird zudem mittels einer Risiken- und Chancen-Analyse priorisiert (vorliegendes Arbeitspapier) und nach dem Muster des Aktionsplans des Bundes in einem kantonalen Massnahmenplan Klimawandel konkretisiert werden. Dabei kann das laufende Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel des Bundes (BAFU, 2014e) wertvolle Hinweise bezüglich Umsetzung in der Praxis liefern. Mit der kantonalen Klimastrategie kann schliesslich der Regierung des Kantons Graubünden ein Instrument zur Verfügung gestellt werden, mit welchem sie die Herausforderungen des Klimawandels mit den passenden Massnahmen in einem Regierungsprogramm wirkungsvoll und fachübergreifend angehen kann.

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Risiken und Chancen, welche sich durch den Klimawandel im Kanton Graubünden ergeben. Diese Analyse richtet sich nach der Methodik des Bundes (EBP/WSL/SLF, 2013a), wobei sie die speziellen Gegebenheiten des Kantons Graubünden in naturräumlicher, wirtschaftlicher und klimatischer Hinsicht berücksichtigt.

2.2 Struktur des vorliegenden Arbeitspapiers

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Risiken und Chancen, welche von zwölf verschiedenen Gefahren und Effekten des Klimawandels ausgehen. Es bewertet sie für acht verschiedene Auswirkungsbereiche. Die Zusammenfassung und die Synthese (Kapitel 1) zu Beginn des Berichtes führen die Ergebnisse der Analyse zusammen. Nach einer Orientierung zur thematischen und strategischen Einbettung des vorliegenden Arbeitspapiers wird das methodische Vorgehen erläutert (Kapitel 2). In Kapitel 3 werden Raum, Wirtschaft und Bevölkerung des Kantons Graubünden umrissen und das aktuelle Klima und seine künftige Entwicklung ausgeführt. Darauf folgt eine Beschreibung der zwölf analysierten Gefahren und Effekte. Es sind dies: Veränderung Mitteltemperatur, Hitzewelle, Frost, Änderung Niederschlagsregime, Trockenheit, Red. Schneedecke, Gletscher, Auftauen Permafrost, Lawinen, Hochwasser, Steinschlag/Felssturz/Bergsturz, Waldbrand, sowie Sturm/Orkan. In Kapitel 4 werden die acht Auswirkungsbereiche charakterisiert und ihre Risiken und Chancen präsentiert und diskutiert. Die untersuchten Auswirkungsbereiche sind: Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Infrastruktur/Gebäude, Wasserwirtschaft sowie Biodiversität (vgl. Tabelle 3). Im darauf folgenden Kapitel 5 werden die Rahmenbedingungen und die Ziele für den Umgang mit den klimabedingten Risiken und Chancen aufgeführt. Ihm folgen das Glossar (Kapitel 6), welches die verwendete Literatur und die zitierten Gesetze und Regelwerke referenziert, Abkürzungen ausführt und einige Begriffe erläutert, sowie Abbildungen und Tabellen auflistet. Im Anhang (Kapitel 7) sind erläuternde Daten, Modelle und Berechnungen aufgeführt.

Tabelle 3. Die analysierten acht Auswirkungsbereiche und zwölf Gefahren und Effekte. Die grau hinterlegten Felder werden im vorliegenden Arbeitspapier analysiert. Als Grundlage für diese Analyse dient die Datenbank zu Naturereignissen StorMe (AWN, 2014a), Daten der Gebäudeversicherung Graubünden (GVG, 2014a) sowie der Waldbranddatenbank (WaDB; AWN, 2014b). Alle übrigen Schnittstellen werden mithilfe von Angaben aus der Literatur und der Hilfe von Expertinnen und Experten analysiert.

Gefahr/Effekt	Auswirkungsbereich											
	Veränderung Mitteltemperatur	Hitzewelle	Frost	Änderung Niederschlagsregime	Trockenheit	Red. Schneedecke, Gletscher	Auftauen Permafrost	Lawinen	Hochwasser	Steinschlag/ Felssturz/ Bergsturz	Waldbrand	Sturm/ Orkan
Gesundheit	Lit.	Lit.				Lit.		StorMe	StorMe	StorMe		
Landwirtschaft	Lit.		Lit.		Lit.				StorMe			
Waldwirtschaft	Lit.				Lit.			StorMe		StorMe	WaDB	Lit.
Energie	Lit.	Lit.		Lit.								
Tourismus		Lit.				Lit.		StorMe				
Infrastruktur, Gebäude				GVG			Lit.	GVG	GVG	GVG		GVG
Wasserwirtschaft				Lit.	Lit.				Lit.			
Biodiversität	Lit.		Lit.	Lit.	Lit.	Lit.	Lit.		Lit.		Lit.	

2.3 Methoden

Der Klimawandel wird für die Gesellschaft dort zur Herausforderung, wo ihre Werte gefährdet sind. Er stellt aber nicht nur ein Risiko dar, sondern er birgt auch Chancen. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen auf der Grundlage bereits vorgängig festgelegter Elemente bewertet (vgl. EBP/WSL/SLF, 2013a). Es sind dies ausgewählte Gefahren, Effekte, Auswirkungsbereiche und Indikatoren, welche letztlich eine vergleichbare Bewertung der Risiken bzw. Chancen zulassen. Diese Elemente werden in den folgenden Kapiteln erläutert. Ebenso werden gegen Ende dieses Kapitels die Unsicherheiten klassiert, mit welchen die Ergebnisse behaftet sind.

2.3.1 Definition der Risiken und Chancen

Klimatische Veränderungen führen zu Gefahren und damit verbundenen Schäden von unterschiedlichem Ausmass. Solange diese Schäden nur als mögliches Ereignis gelten, stellen sie ein Risiko dar. Klimatische Veränderungen können aber auch positive Auswirkungen haben. Es können sich Chancen ergeben, die – sofern sie genutzt werden – zu neuer oder zusätzlicher Wertschöpfung führen können. Der Klimawandel kann auch bestehende Risiken verringern.

Definition Risiko

Im vorliegenden Arbeitspapier wird ein einfacher Ansatz gewählt, welcher das Risiko durch drei Faktoren bestimmt, nämlich:

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} \times \text{Werte} \times \text{Verletzlichkeit}$$

Die Gefährdung wird durch die acht Gefahren und Effekte repräsentiert. Diese, etwa Hochwasser, werden bestimmt durch die Intensität oder Stärke und die Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit des Eintretens. Eine Veränderung des Klimas (im Sinne der meteorologischen Parameter) bewirkt ausschliesslich eine Veränderung der Gefährdung. Unter den Begriff Werte fallen Personen, Tiere, Sachwerte, Infrastrukturen etc., die der Gefährdung ausgesetzt sind. Die Verletzlichkeit definiert den Schadensgrad, welchen die Werte erleiden, wenn sie einer Gefährdung mit einer bestimmten Stärke direkt ausgesetzt sind. Risiken entstehen somit nur dort, wo Werte der Gefährdung ausgesetzt sind. Risiken, und im Falle des Eintretens die Schäden, sind somit nicht nur eine Frage der Gefährdung, sondern insbesondere auch der Werte und deren Verletzlichkeit.

Definition Chance

Risiken und Chancen sind stets als Zwillinge zu betrachten, obschon sie oft sehr ungleich sind. Es ist kaum möglich, Chancen zu nutzen, ohne nicht auch ein entsprechendes Risiko zu provozieren. Trotz der engen Kopplung von Risiken und Chancen ist eine einheitliche Definition der beiden Grössen nur schwer möglich. Während sich Schäden mehrheitlich direkt einstellen, und somit abgegrenzt und eingeschätzt werden können, müssen Chancen zuerst erkannt und dann auch genutzt werden, damit ein volkswirtschaftlicher Mehrwert entstehen kann. Im Unterschied zum Risiko macht es bei der Chance wenig Sinn, von einer Wiederkehrperiode zu sprechen. Wenn im Folgenden von Chancen gesprochen wird, bezieht sich dies deshalb auf eine momentane Einschätzung einer marktwirtschaftlich möglichen Wertschöpfung im Jahr 2060. Dabei wird abgeschätzt, falls möglich anhand der heutigen Marktsituation, wie die Wertschöpfung als Folge des Klimawandels erhöht werden kann. Grundsätzlich gelten im vorliegenden Arbeitspapier eine gesteigerte Wertschöpfung oder im Fall der Biodiversität eine gesteigerte Überlebensfähigkeit der Nachkommen als Chance.

Risiken für den Einen, Chancen für den Anderen

Ob eine Gefahr oder ein Effekt des Klimawandels zu einem Risiko wird oder eher eine Chance darstellt, ist oft auch eine Frage des Standpunktes. Wenn zum Beispiel der Heizbedarf zurückgeht, so ist dies eine Chance für die Haushalte. Seitens der Heizölbranche wird es wohl eher als Risiko empfunden.

den. Im vorliegenden Arbeitspapier wird Wertung der Gefahren und Effekte ein gesellschaftlicher und klimapolitischer Standpunkt eingenommen. Im vorherigen Beispiel wird demnach der Rückgang beim Heizölverbrauch als Rückgang des Risikos, respektive als Chance gewertet.

2.3.2 Wahl der Szenarien

Das vorliegende Arbeitspapier ermittelt die Risiken und Chancen des Klimawandels für das Jahr 2060. Dabei steht 2060 für die Zeitspanne von 2045 bis 2074. Das Klima zu dieser Zeit wird in den zwei Szenarien 2060-schwach und 2060-stark abgebildet. Diese Szenarien werden in Kapitel 3.2.2 erläutert.

2.3.3 Wahl der Gefahren, Effekte und Auswirkungsbereiche

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert zwölf Gefahren und Effekte für acht Auswirkungsbereiche. In Tabelle 3 ist ersichtlich, welche der 96 möglichen Schnittstelle analysiert werden. Als Grundlage für diese Analyse dienten Daten, Expertenwissen und Angaben aus der Literatur.

Im Unterschied zum Methodenbericht des Bundes (EBP/WSL/SLF, 2013a) werden im vorliegenden Arbeitspapier die Gefahren und Effekte Starker Schneefall, Gewitter und Kältewelle nicht berücksichtigt. Ebenso weggelassen wird der Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen. Die Gefahr/der Effekt Murgang wird im Rahmen von Hochwasser analysiert. Diese Abweichungen gegenüber dem Methodenbericht werden folgendermassen begründet:

Starker Schneefall

Episodisch ereignen sich auf Kantonsgebiet starke Schneefälle, welche auf Strasse und Schiene den Betrieb stark beeinträchtigen können und in höheren Lagen die Lawinengefahr anheben. Im vorliegenden Arbeitspapier wird starker Schneefall als Element der Gefahr/des Effektes Änderung im Niederschlagsregime oder Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher diskutiert.

Gewitter

Gewitter treten in der Regel während der wärmeren Jahreszeiten auf. Sie sind oft von heftigen Winden, Blitzschlag und seltener auch von Hagel begleitet. Gewitter fordern immer wieder Menschenleben, lösen Waldbrände aus, töten Weidetiere, zerstören landwirtschaftliche Kulturen und beschädigen Gebäude, Infrastrukturanlagen oder elektrische Geräte. In den vergangenen 25 Jahren haben Gewitter in Graubünden Schäden von knapp 20 Mio. Franken an Infrastruktur und Gebäuden verursacht (Blitzschlag 14 Mio. Franken; Hagel 6 Mio. Franken (GVG, 2014a)). Zudem führten Blitzeinschläge zu rund 80 Wald- und Flurbränden (AWN, 2014b). Stromunterbrüche durch Gewitter scheinen selten vorzukommen (Durchschnittlich zwei pro Jahr (AEV, 2014)). Generell gehört Graubünden zu den am wenigsten von Hagelgewittern betroffenen Gebieten der Schweiz (Schweizer Hagel, 2014).

Der Zusammenhang zwischen Gewitterhäufigkeit und dem Klimawandel scheint umstritten. Die entscheidenden konvektiven Prozesse sind sehr kleinräumig, weshalb die Modelle keine Evidenz für zukünftig veränderte Gewitter erkennen (vgl. CH2011, 2011). Hagelversicherungen vermelden demgegenüber zunehmende Schadenmeldungen (z. B. Wille, 2009). Dieser Trend ist aber als Indiz für zunehmende Ereignisse eher unsicher. Aus diesen Unsicherheiten heraus werden Gewitter im vorliegenden Arbeitspapier nicht als eigene Gefahr/ eigener Effekt analysiert. Sie werden aber als Auslöser für Waldbrände und Hochwasserereignisse in den entsprechenden Kapiteln kurz diskutiert.

Kältewelle

Lange anhaltende Kälte kann den Verkehr beeinträchtigen und Menschen in Gefahr bringen, wenn sie ihr schutzlos ausgeliefert sind. Im vorliegenden Arbeitspapier werden kalte Temperaturen im Rahmen der Gefahren und Effekte Frost und Veränderung der Mitteltemperatur analysiert.

Murgang

Murgänge treten in Graubünden oft kombiniert mit Hochwasser auf. So sind bei rund einem Drittel der Schäden durch Hochwasser im Kanton Murgänge beteiligt (GVG, 2014a). Die Schäden von Murgangereignissen und Hochwasser sind im räumlich reich strukturierten Gelände des Kantons Graubünden oft nur schwer auseinanderzuhalten. Im vorliegenden Arbeitspapier werden deshalb die beiden Naturgefahren zusammengeführt und unter dem Titel Hochwasser analysiert (vgl. Bründl et al., 2013; GVG, 2014b).

Freiräume und Grünflächen

Im Methodenbericht sind die Freiräume und Grünflächen als neunter Auswirkungsbereich definiert. Diese typischen Elemente einer Stadt ermöglichen Begegnungen, Naturerlebnisse und Erholung und sie bieten Lebensraum für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten (BAFU, 2012a). Die Freiräume und Grünflächen wurden in den beiden Fallstudien Basel-Stadt und Genf eingehend berücksichtigt (vgl. z. B. INFRAS und Egli Engineering AG, 2014b). Da in Graubünden die Städte (Graubünden zählt nach Einwohnerzahl nur die Städte Chur und Davos) und die städtischen Freiräume eher von untergeordneter Bedeutung sind, werden sie für das vorliegende Arbeitspapier nicht weiter analysiert. Das bedeutet aber nicht, dass Freiräume und Grünflächen in den urbanen Räumen des Kantons im Rahmen des Klimawandels nicht auch im Auge behalten werden müssen.

2.3.4 Umgang mit Extremereignissen

Die Veränderung der Mittelwerte von Klimavariablen, etwa der Temperatur oder des Niederschlags, ist eng verbunden mit der Veränderung ihrer Varianz oder der Wahrscheinlichkeitsverteilung extremer Ereignisse. Der Klimawandel führt somit erwartungsgemäss nicht nur zu Veränderungen der Mittelwerte, sondern auch zu Veränderungen der Häufigkeit, der Intensität, der räumlichen Ausdehnung, der Dauer oder des Zeitpunkts extremer Wetter und Klimaereignisse (IPCC, 2012).

Der Methodenbericht gibt vor, Extremereignisse in der Analyse der Risiken und Chancen einzubeziehen. Für einige Gefahren und Effekte bestehen Daten, die etwa das 50- bis maximal 100-jährliche Ereignis abdecken (vgl. etwa den Lawinenwinter 1999 (SLF, 2000) oder die Auswirkungen des Sturms Lothar (WSL und BUWAL, 2001)). Historische Ereignisse mit grösseren Wiederkehrperioden sind demgegenüber in der Regel nur spärlich dokumentiert. Da in der Regel die Informationen zu Extremereignissen fehlen, ist es kaum möglich, sie angemessen zu berücksichtigen. Das vorliegende Arbeitspapier versucht, die Extremereignisse wenigstens ansatzweise zu berücksichtigen. Jüngere Extremereignisse werden falls möglich in den Daten identifiziert und einer Wiederkehrperiode zugewiesen. Vorstellbare Extremereignisse oder Ereignisketten werden jeweils pro Auswirkungsbereich kurz diskutiert.

2.3.5 Ausblenden von zukünftigen Anpassungen

Das vorliegende Arbeitspapier betrachtet die zukünftigen Risiken und Chancen des Klimawandels. Dabei werden zukünftige Anpassungen nicht berücksichtigt (vgl. EBP/WSL/SLF, 2013a). So fliessen beispielsweise Verhaltensänderungen bei Hitze oder neue Bauten zur Abwehr von Naturgefahrenereignissen nicht in die Analyse ein. Mit diesem Ansatz wird aufgezeigt, was geschehen kann, wenn nicht gehandelt wird.

2.3.6 Wahl der Indikatoren

Die Art und Weise, wie der Klimawandel die verschiedenen Auswirkungsbereiche beeinflusst, wird mit Hilfe von Indikatoren beschrieben. Es sind dies etwa die Anzahl Todesfälle, Verletzte oder Evakuerte, aber auch zerstörte Wald- und Landwirtschaftsflächen. Diese Indikatoren fassen die Effekte des Klimawandels in Einheiten zusammen, welchen ein Geldwert zugeordnet werden kann. Die Tabelle 20 im Anhang beschreibt die verwendeten Indikatoren.

2.3.7 Monetarisierung

Kern des vorliegenden Arbeitspapiers ist es, die Risiken und Chancen so gut als möglich untereinander vergleichbar zu machen. Um dies zu erreichen, werden die Auswirkungen der Gefahren und Effekte nach Möglichkeit monetarisiert. Das heisst, es werden ihnen Kosten oder Nutzen in Form eines Geldbetrags zugeordnet. Es werden also – falls es die Daten zulassen – die heutigen Erwartungswerte der untersuchten Gefahren und Effekte berechnet. Zusätzlich zu den bereits bezifferten Schäden (etwa Schadenssummen bei Gebäudeschäden), werden nicht bezifferte Verluste oder Beeinträchtigungen (beispielsweise Verletzte oder Todesopfer) monetarisiert. Die gewählten Ansätze sind in Tabelle 20 im Anhang aufgeführt.

2.3.8 Indexierung

Die jährlichen Erwartungswerte der Gefahren, Effekte und Auswirkungsbereiche sind jeweils in Schweizer Franken angegeben. Um die Frankenbeträge von Jahr zu Jahr vergleichbar zu machen, muss bei älteren Daten die Teuerung mitberücksichtigt werden. Im vorliegenden Arbeitspapier werden deshalb die jährlichen Schadenssummen auf der Grundlage des Landesindex der Konsumentenpreise (LIK; BFS, 2014a) indiziert.

2.3.9 Wirkungsanalyse

Daten

Daten bilden die Grundlage um Erwartungswerte zu berechnen. Solche Daten sind im Idealfall in Datenbanken vereint, beispielsweise in der Waldbranddatenbank (AWN, 2014b), der Datenbank der Gebäudeversicherung Graubünden (GVG, 2014a) oder der Naturgefahrenbank StorMe (AWN, 2014a). Diese Datenbanken sind sehr wertvoll, obschon sie historische Schadenfälle oder Erträge nur beschränkt abbilden. Die Daten von StorMe etwa reichen nur bis ins Jahr 1999 zurück und sie enthalten ausschliesslich Ereignisse in Siedlungsnähe. Für Schäden an Infrastruktur und Gebäuden kann auf die Daten der Gebäudeversicherung zurückgegriffen werden (im vorliegenden Arbeitspapier sind Ereignisse von 2013 bis 1992 berücksichtigt), während für die Analyse von Waldbränden aus der entsprechenden Datenbank ebenfalls Daten von 2013 bis 1992 berücksichtigt werden können. Damit stehen Schadendaten für einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren zur Verfügung. Alle übrigen Daten und Informationen stammen aus der Fachliteratur, sind Experteneinschätzungen oder wurden gutachterlich eingesetzt.

Erwartungswert und Wiederkehrperiode

Aus den Daten und Informationen werden die Erwartungswerte der einzelnen Gefahren und Effekte berechnet. Der Erwartungswert charakterisiert den durchschnittlichen Schaden oder Effekt. Um in den kurzen Datenreihen seltene Ereignisse nicht zu überbewerten, werden den jährlichen Schadenssummen Wiederkehrperioden zugewiesen. Die Wiederkehrperiode entspricht der erwarteten Zeitspanne zwischen zwei Ereignissen gleicher oder höherer Intensität. Die jährlichen Schadenssummen werden entsprechend ihrer Grösse einer von vier bis fünf Klassen zugeordnet (vgl. Abbildung 3). Anhand der Anzahl Jahrgänge pro Klasse wird schliesslich die Wiederkehrperiode jährlicher Schadenssummen geschätzt.

Der Erwartungswert bemisst sich im vorliegenden Beispiel aus dem Mittel der zehn jährlichen Schadenssummen in der Klasse zwischen 1 Mio. und 5 Mio. Franken mit einer jährlichen Wiederkehrperiode, dem Mittel der drei jährlichen Schadenssummen zwischen 5 Mio. und 10 Mio. Franken geteilt durch fünf (5-jährliche Wiederkehrperiode), dem einen Jahr mit Schäden zwischen 10 und 20 Mio. Franken geteilt durch 10 (10-jährliche Wiederkehrperiode) und dem einen Jahr mit Schäden zwischen 20 und 30 Mio. Franken geteilt durch 30 (30-jährliche Wiederkehrperiode). Der Erwartungswert wird – wo aufgrund der Datenlage machbar und sinnvoll – für jede Gefahr und jeden Effekt in den einzelnen Auswirkungsbereichen berechnet.

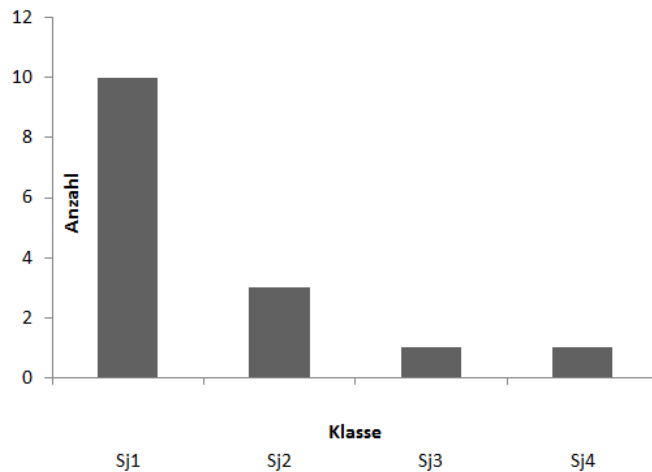


Abbildung 3. Jährliche Schadenssummen (Sj) einer fiktiven Gefahr aus den vergangenen 15 Jahren, aufgeteilt in vier Klassen entsprechend Sj1 ($S_j < 5$ Mio. Franken; 10 Jahrgänge), Sj2 ($5 \leq S_j < 10$ Mio. Franken; 3 Jahrgänge), Sj3 ($10 \leq S_j < 20$ Mio. Franken; 1 Jahrgang) sowie Sj4 ($20 \leq S_j < 30$ Mio. Franken; 1 Jahrgang).

Im vorliegenden Beispiel wird aufgrund der Daten angenommen, dass das grösste erfasste Ereignis eine Wiederkehrperiode von 30 Jahren aufweist. Theoretisch müssten auch Ereignisse mit bedeutend grösserer Wiederkehrperiode und dementsprechend grösserem Schadenausmass berücksichtigt werden. Darauf geht Kapitel 2.3.10 ein.

Zukünftige Veränderungen

Die Risiken und Chancen werden auf der Grundlage der heutigen Erwartungswerte und den wahrscheinlichen Veränderungen der Gefahren und Effekte abgeschätzt. Dazu werden zunächst die Richtung der Veränderung (Abnahme oder Zunahme) und das Ausmass (Frequenz oder Intensität) festgelegt. Das vorliegende Arbeitspapier legt für Richtung und Ausmass der Veränderungen fünf Stärkeklassen fest: keine Veränderung, geringe Veränderung, mässige Veränderung, erhebliche oder grosse Veränderung (vgl. Tabelle 4). Sie werden für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark separat festgelegt. Die Richtung der Veränderung einer Gefahr oder eines Effektes wird entsprechend der Literatur oder gemäss Experteneinschätzungen gewählt. Das Ausmass der Veränderung wird in Anlehnung an Angaben aus der Literatur oder gemäss Expertenmeinungen eingeschätzt. Besteht für eine Gefahr/einen Effekt bereits eine Prognose, so wird diese übernommen anstelle der Parameter aus Tabelle 4. Die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark werden berechnet, indem der heutige Erwartungswert mit dem gewählten Quotienten multipliziert wird. Die Differenz zwischen dem Ergebnis und dem heutigen Erwartungswert entspricht der gesuchten Veränderung der Risiken und Chancen.

Tabelle 4. Wertung der zukünftigen Veränderung von Intensität und Frequenz einer Gefahr/eines Effektes und die entsprechenden Quotienten.

Wertung	Quotient Zunahme	Quotient Abnahme
Keine Veränderung	1	1
Geringe Veränderung	1.1	0.9
Mässige Veränderung	1.25	0.75
Erhebliche Veränderung	1.5	0.5
Grosse Veränderung	1.75	0.25

2.3.10 Mängel und Unsicherheiten

Das vorliegende Arbeitspapier wählt einen möglichst einfachen und pragmatischen Ansatz, um die Erwartungswerte zu beziffern. Dieser Ansatz weist zahlreiche Mängel auf, welche sich auf die Ergebnisse niederschlagen. Die Mängel rühren aber nicht nur vom gewählten Ansatz her, sondern in erster Linie von den verwendeten Daten (limitierter Geltungsbereich, begrenzter Zeithorizont), von den verwendeten Klimaszenarien, den Unsicherheiten der verwendeten Klima-Modelle, von der natürlichen Variabilität des Klimas, von der Modellierung der Gefahr oder des Effektes und vom Ausmass der Auswirkung etc. Auch die aktuellen Aussagen zu einzelnen Gefahren und Effekten im Rahmen der

heutigen Gefahrenbeurteilung sind in der Regel mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Dies hat verschiedene Gründe, welche hier kurz diskutiert werden sollen.

Seltene Ereignisse

In kurzen Datenreihen sind seltene Ereignisse nur mit geringer Wahrscheinlichkeit enthalten. Die Abbildung 4 zeigt eine sog. Farmer-Kurve, welche alle Ereignisse einer fiktiven Gefahr mit ihren unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten umfasst. Zu jeder Eintrittswahrscheinlichkeit „w“ eines Ereignisses gehört ein entsprechender Schaden „A“. Die Fläche des Polygons entspricht dem Risiko bzw. dem Erwartungswert. Das Ereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 10^{-4} (10 000-jährliches Ereignis) beispielsweise entspricht einem Schaden von 10 Mia. Franken. Sein Beitrag zum jährlichen Schadenerwartungswert entspricht $10^{-4} \times \text{Franken } 10^{10} = 1 \text{ Mio. Franken pro Jahr}$.

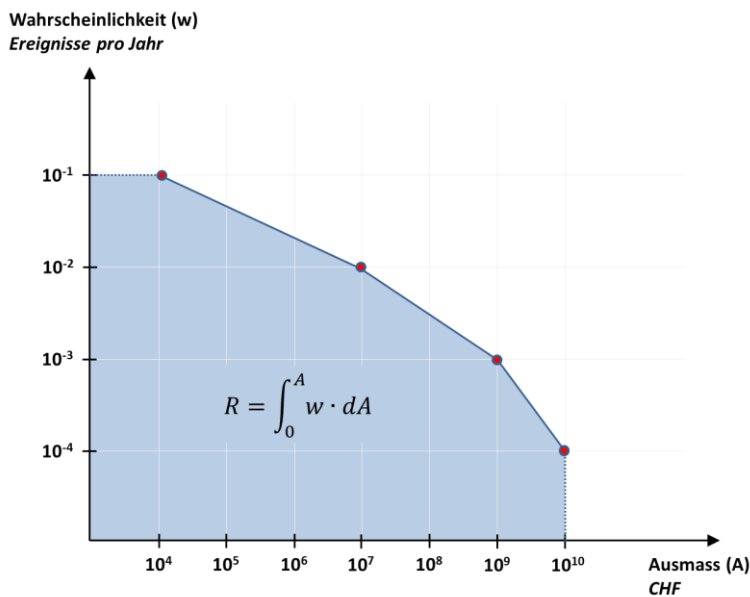


Abbildung 4. Die hier mit fiktiven Daten dargestellte Farmer-Kurve charakterisiert Ereignisse unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit „w“ und entsprechendem Ausmass „A“. Die Fläche unterhalb des Polynoms stellt das resultierende Gesamtrisiko einer Gefahr oder eines Effektes, bzw. den jährlichen Schadenerwartungswert dar.

Für seltene Ereignisse ist es beinahe unmöglich, einen Trend nachzuweisen oder auszuschliessen (OCCC, 2003). Seltene Ereignisse ergeben sich aus einer seltenen Kombination von gewöhnlichen Wettersituationen, auch unabhängig vom Klimawandel. Schliesslich ist die Berücksichtigung von seltenen Ereignissen auch dadurch erschwert, dass in ihrer Folge oftmals Schutzmassnahmen ergriffen werden. Ein Extremereignis ähnlicher Intensität wird deshalb in Zukunft nicht mehr dieselbe Wirkung entfalten. Die Extremereignisse werden im vorliegenden Arbeitspapier entsprechend zurückhaltend behandelt.

Wiederkehrperiode

Die Wiederkehrperiode wird im vorliegenden Arbeitspapier aufgrund der jährlichen Schadenssummen geschätzt. Diese Schätzungen sind fehlerhaft. Wie oben erläutert werden aufgrund der kurzen Datenreihen beispielsweise seltene Ereignisse verfehlt und dadurch die Wiederkehrperiode der dokumentierten Ereignisjahre über- oder unterschätzt.

Lineares Hochrechnen

Die zukünftigen Erwartungswerte werden im vorliegenden Arbeitspapier linear in Funktion der veränderten Parameter hochgerechnet. Dies ist eine grobe Vereinfachung. Die Mechanismen, welche die betrachteten Gefahren und Effekte vor dem Hintergrund des Klimawandels verändern sind nur annähernd bekannt.

Schätzwerte

Für mehrere Auswirkungsbereiche werden die Erwartungswerte geschätzt. Die Schätzwerte lehnen sich zwar an Angaben aus der Literatur, sind aber sicherlich fehlerbehaftet.

Bezug zum Klimawandel

Die Erwartungswerte spiegeln nur zum Teil Schäden oder Erträge, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Die untersuchten Gefahren und Effekte weisen zwar immer einen mehr oder weniger grossen Zusammenhang zum Klima aus. Dennoch sind auch andere Faktoren oder Entwicklungen massgeblich. So sind etwa Steinschlagereignisse auch wesentlich von der Geologie mitbestimmt. Die Analyse berechnet erwartete Schäden basierend auf den heutigen Erwartungswerten, ohne klimaunabhängige Ereignisse herauszufiltern.

Komplexe Wirkungsketten

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Erwartungswerte für eine einfache Wirkung einer Gefahr oder eines Effektes auf einen Auswirkungsbereich. Dies ist eine grobe Vereinfachung. In der Regel führt eine neu entstandene Wirkung auch zu Ursachen für weitere neue Wirkungen. Mögliche Verkettungen von Gefahren oder Effekten werden nicht quantifiziert. Im Rahmen der Ergebnisse wird lediglich auf mögliche Wirkungsketten hingewiesen.

2.3.11 Berücksichtigen der Unsicherheiten

Die Unsicherheiten der Risiken und Chancen sind erheblich. Um diese Unsicherheiten hervorzuheben wird den Berechnungen ein Unschärfebereich zugeordnet. Für jedes Ergebnis (Schnittstelle Gefahr/Effekt und Auswirkungsbereich) wird der Unschärfebereich dargestellt. Dieser wird einer von vier Kategorien zugewiesen (vgl. INFRAS und Egli Engineering, 2014a). Die oberen und unteren Grenzen des Unschärfebereichs einer Klasse sind in Tabelle 5 aufgelistet. Die Unsicherheitsbereiche können mitunter grösser ausfallen als die erwarteten Veränderungen selbst.

Tabelle 5. Definition, Kategorisierung und Beschreibung des verwendeten Unschärfebereichs gemäss der Fallstudie Uri (INFRAS und Egli Engineering, 2014a).

Kategorie	Beschreibung des Unschärfebereichs	Unschärfebereich „f“
0	Sehr gering	$0.93 < f < 1.1$
1	Gering	$0.8 < f < 1.3$
2	Mittel	$0.5 < f < 2$
3	Gross	$f < 0.5$, respektive $f > 2$

2.3.12 Handlungsfelder

Die Ergebnisse der Risiko-Chancen-Analyse sollen dazu dienen passende Massnahmen der Anpassung an den Klimawandel zu wählen. Um eine Brücke zur Anpassung an den Klimawandel zu schlagen, werden die Handlungsfelder aus dem Arbeitspapier 1 zur Klimaanpassung (ANU, 2015a) respektive der Klimaanpassungsstrategie des Bundes (BAFU, 2012b) übernommen und den Ergebnissen zugeordnet. Die Handlungsfelder der Klimaanpassung werden letztlich in der Klimastrategie des Kantons in Handlungsschwerpunkte zusammengeführt, auch auf der Grundlage der Ergebnisse des vorliegenden Arbeitspapiers.

3 Grundlagen

Das folgende Kapitel beschreibt grundlegende Informationen, welche für die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels benötigt werden. So werden der Kanton und seine sozioökonomische Entwicklung kurz beschrieben, das heutige Klima und die Klimaszenarien skizziert sowie die Entwicklung der Gefahren und Effekte umrissen.

3.1 Der Kanton Graubünden

3.1.1 Raum

Der Kanton Graubünden ist topografisch, klimatisch und wirtschaftlich ausserordentlich vielfältig. Er erstreckt sich über eine Fläche von 7105 km² und ist damit der grösste Kanton der Schweiz (GKB und AWT, 2013). Der tiefste Punkt liegt bei San Vittore im Misox (260 m ü. M.) an der Grenze zum Kanton Tessin. Der höchste Punkt markiert die Spitze des Piz Bernina auf 4049 m ü. M. Eisbedeckte Gipfel stehen im Kontrast zu beinahe mediterran geprägten Tälern. Der Kanton gilt als Gebirgskanton. Über die Hälfte seiner Fläche liegt oberhalb von 2000 m ü. M. (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6. Flächenanteile des Kantons Graubünden über verschiedene Höhenstufen.

Höhenlage (m ü. M.)	Prozent (%)	Fläche (km ²)
260-2000	44	3098
2000-2300	20	1419
2300-2500	14	1013
2500-4049	22	1575
Total	100	7105

Die Raumnutzung spiegelt den vielfältigen Naturraum Graubündens. Der Kanton wird zu 2 % seiner Fläche für Siedlungen und zu 29 % durch die Landwirtschaft genutzt. Wald und Gehölze bedecken 28 % und 40 % des Kantons gelten als unproduktive Fläche (AWN, 2014c). Knapp 1 % wird von Gewässern eingenommen (AWN, 2014c). Der Naturraum wird in Kapitel 4.10 eingehend beschrieben.

3.1.2 Wirtschaft

Die wirtschaftlichen Verhältnisse spiegeln die räumliche Struktur des Kantons. Die Industrie nutzt die verkehrstechnisch gut erschlossenen Tallagen, während die montanen und subalpinen Lagen vorwiegend landwirtschaftlich und touristisch genutzt werden. Im Bereich der Berggipfel herrscht weitgehend unberührter Naturraum vor.

Im Jahr 2011 erwirtschaftete Graubünden ein kantonales Bruttoinlandprodukt (BIP) in der Höhe von rund 11.5 Mia. Franken (Regierung des Kantons Graubünden, 2014). Das BIP pro Kopf ist vergleichsweise gering. Es lag 2011 bei rund 60 000 Franken pro Einwohnerin und Einwohner (CH: 74 000 Franken; GKB und AWT, 2013). Bis 2020 wird ein durchschnittliches jährliches Wachstum des Bündner BIP von 1.2 % prognostiziert (AWT, 2011). Zurzeit ist Graubünden Nettoempfänger im Finanzausgleich zwischen den Kantonen (insgesamt 244 Mio. CHF im Jahr 2014, EFV, 2015).

Der Kanton zählt rund 103 000 Arbeitnehmende. Rund 8 % von ihnen sind im ersten Sektor beschäftigt (zu diesem Sektor zählen Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie die Gewinnung von Bodenschätzen), 24 % sind im zweiten Sektor tätig (Industrie, das Gewerbe und Handwerksbetriebe) und 68 % im dritten Sektor (Dienstleistungsbetriebe, der Handel, die Verwaltung, etc.; BFS, 2013c). Rund 48 000 Personen arbeiten in Betrieben in Tallagen, je etwas mehr als 27 000 in montanen und in subalpinen Lagen (GKB und AWT, 2013), wobei die Wirtschaftsleistung wohl vorwiegend im urbanen Raum erbracht wird (vgl. BAFU, 2012a). Die Produktivität pro Arbeitsplatz beträgt 116 000 Franken (CH: 150 000 Franken; Regierung des Kantons Graubünden, 2014).

Die Zahl der Arbeitsplätze im Kanton ist rückläufig. Die Zahl der Einwohnerinnen und Einwohner ist über die vergangenen Jahre hingegen stabil geblieben. Dies deutet darauf hin, dass die Bevölkerung

durchschnittlich älter geworden ist und/oder dass zunehmend mehr Einwohnerinnen und Einwohner zu Arbeitsplätzen ausserhalb des Kantons pendeln (AWT, 2011). Die verschiedenen Wirtschaftsbereiche werden in Kapitel 4.3 bis 4.10 beschrieben.

3.1.3 Bevölkerung

Bevölkerungszahl

Der Kanton Graubünden zählt 194 000 Einwohnerinnen und Einwohner, von welchen knapp die Hälfte in Tallagen wohnt, ein Drittel in montanen Lagen und ein Viertel in subalpinen Lagen (GKB und AWT, 2013). Der Kanton ist sehr dünn besiedelt. Die Einwohnerinnen und Einwohner verteilen sich auf rund 27 Personen pro km² (BFS, 2013c). Der Anteil der Bevölkerung in urbanen und suburbanen Regionen beträgt im Kanton rund 50 % (CH: 70 %; BFS, 2012).

Altersquotient und Sterberate

Der Altersquotient ist der klassische Indikator für die demografische Alterung. Er gibt das quantitative Verhältnis zwischen den über 64-Jährigen und den 20- bis 64-Jährigen an. Er beträgt im Kanton Graubünden 31 % (im Jahr 2013; CH: 28 %; BFS, 2014h). In Tallagen beträgt der Altersquotient rund 27 %, in montanen und subalpinen Lagen liegt er bedeutend höher (36 %). Der Anteil der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (die 20 bis 64 Jährigen) liegt bei 42 % (Kanton Graubünden, 2014a). Der Kanton Graubünden weist mit 1720 Todesfällen pro Jahr eine Sterberate von 0.88 % der Bevölkerung auf (GKB und AWT, 2013).

Bevölkerungsentwicklung

Die Entwicklung der Bevölkerung wird je nach Quelle unterschiedlich prognostiziert. Gemäss dem BFS nimmt die Bevölkerung des Kantons Graubünden bis 2035 um 3 % auf 198 000 Personen zu (mittleres Szenario; BFS, 2010). Das Bevölkerungswachstum schwächt sich dabei im Lauf dieses Zeitraums ab. Demgegenüber geht eine Studie des ARE Graubünden davon aus, dass die Bündner Bevölkerung deutlich stärker anwächst. Rund 215 300 Personen sollen bis ins Jahr 2040 im Kanton wohnen (mittleres Szenario; ARE, 2014). Dies entspricht einer Zunahme von rund 10 %. Das ARE rechnet mit erheblichen regionalen Unterschieden. In den Regionen Nordbünden, Herrschaft/Fünf Dörfer, Davos und Mesolcina wird die Bevölkerung um über 20 % anwachsen, während sie in Mittelbünden, dem Münstertal und dem Bergell in der gleichen Zeitperiode über 10 % abnehmen wird. Dabei hält die Entwicklung einer immer älter werdenden Gesellschaft an.

Bedeutung der sozioökonomischen Entwicklung

Der Fokus des vorliegenden Arbeitspapiers liegt auf den zukünftigen Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Graubünden. Um dies zu unterstreichen wird die gleichzeitige Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt bewusst ausgeblendet. Da sie aber Werte und Verletzlichkeit – und damit die Risiken und Chancen – erheblich mitbestimmen, wird ihre mögliche Entwicklung in der Synthese (Kapitel 1) ausführlich diskutiert.

3.2 Das Klima

Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Graubünden setzt voraus, dass die klimatischen Verhältnisse, ihre Variabilität und ihre wahrscheinliche Entwicklung bekannt sind. Sie bilden die Grundlage, um die Veränderungen der Gefahren und Effekte zu ermitteln. Im Folgenden werden das heutige Klima und seine erwartete zukünftige Entwicklung beschrieben.

3.2.1 Klima heute

Temperatur

Die Lufttemperatur weist grosse räumliche und jahreszeitliche Variationen auf. In Tallagen werden heute jährliche Mitteltemperaturen um 10 bis über 12 Grad Celsius (°C) gemessen, in montanen Lagen werden 5.5 bis 7 °C erreicht, in subalpinen Lagen sind es 1 bis 3.6 °C (MeteoSchweiz, 2013; vgl. Tabelle 21).

Die höchsten Temperaturen werden im Sommer und in den Tallagen gemessen. Die Anzahl Hitzetage mit Temperaturen um und über 30 °C betragen in Grono (382 m ü. M.) 15.5, in Chur (556 m ü. M.) 9.9, in Disentis (1197 m ü. M.) 1, in Scuol (1304 m ü. M.) 2.7, während in Davos (1594 m ü. M.) und an allen höheren Stationen bis anhin keine Hitzetage erreicht werden (MeteoSchweiz, 2013; vgl. Tabelle 22). Die wärmste Temperatur im Kanton Graubünden wurde am 13. Juli 2003 mit 41.5 °C in Grono gemessen. Dies ist zudem der höchste je in der Schweiz gemessene Wert (Z'graggen, 2006).

Sehr kalte Temperaturen werden in grosser Höhe und auch in Hochtälern wie dem Oberengadin aufgezeichnet. Die tiefsten Tagesmitteltemperaturen werden in der Regel in den Monaten Dezember, Januar oder Februar erreicht. In Grono betragen sie im Januar knapp 1 °C, in Disentis/Sedrun minus 4 °C, in Davos minus 9 °C und auf Weissfluhjoch (2690 m ü. M.) minus 11 °C.

Frosttage (Tage mit einer Minimumtemperatur unter null Grad) werden an allen Stationen im Kanton festgestellt. So verzeichnet Grono rund 37 Frosttage pro Jahr, Chur deren 84, Disentis 128, der Piz Corvatsch 312. Dabei zeigt es sich, dass die Topografie eine bedeutende Rolle spielt. So verzeichnet Davos (1594 m ü. M.; 189 Frosttage pro Jahr) 25 Frosttage mehr als das rund 250 m höher gelegene Arosa (1840 m ü. M.; 164 Frosttage). Auf dem Berninapass (2307 m ü. M.; 223 Frosttage) werden trotz geringerer Jahresmitteltemperatur 12 Frosttage weniger registriert als im rund 600 m tiefer gelegenen Samedan (1709 m ü. M.; 235). Der Anteil der Tage, an welchen das Temperaturmaximum nicht über null Grad reicht, liegt bei rund 3 % aller Frosttage in Grono, 15 % in Chur, 25 % in Disentis, 31 % in Davos und 76 % auf dem Corvatsch. Die Daten sind Mittelwerte der Jahre 1981 bis 2010 (MeteoSchweiz, 2013).

Niederschlag

Der Niederschlag weist grosse räumliche, jahreszeitliche und von Jahr zu Jahr-Variationen auf. Während Scuol (1304 m ü. M.) und Samedan (1709 m ü. M.) weniger als 800 Millimeter (mm) Niederschlag pro Jahr verzeichnen, erreicht dieser in Hinterrhein (1611 m ü. M.) oder San Bernardino (1639 m ü. M.) mehr als das Doppelte jener Standorte (MeteoSchweiz, 2013; vgl. Tabelle 21). Der Niederschlag ist zudem sehr unterschiedlich über das Jahr verteilt. Im Misox fällt in den Sommermonaten beinahe dreimal so viel Niederschlag wie in den Wintermonaten. In der Surselva hingegen ist der Niederschlag ausgeglichener übers Jahr verteilt.

Die Variabilität von Jahr zu Jahr ist erheblich. In Davos beispielsweise wurden in den vergangenen 50 Jahren bei einem Mittelwert von 1027 mm Niederschlag pro Jahr minimal 703 mm (im Jahr 1971) und maximal 1370 mm (im Jahr 1999) verzeichnet (MeteoSchweiz, 2014b).

Starkniederschläge (Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag pro Tag) sind sehr unterschiedlich über den Kanton verteilt. Das Engadin verzeichnet im Mittel 6 bis 8 Tage mit Starkregen pro Jahr, Mittelbünden deren 9 bis 13 und die Bündner Südtäler 15 bis 25 (MeteoSchweiz, 2012). Starke Nieder-

schläge werden oft durch Staulagen verursacht. Das inneralpine Gebiet des Engadins ist davon offensichtlich wenig betroffen.

Die maximale Anzahl aufeinander folgender Tage mit einem Tagesniederschlag geringer als 1mm (Trockentage) reicht von durchschnittlich 20 bis 25 Tagen in Nord- und Mittelbünden bis zu 30 bis 40 Tagen im Engadin und in den Bündner Südtälern. Dabei sind die Trockenperioden im Winterhalbjahr länger, insbesondere im Süden (MeteoSchweiz, 2012).

Der Anteil Schnee am Jahresniederschlag nimmt mit der Höhenlage zu. In subalpinen Lagen beträgt er rund ein Drittel, in alpinen Lagen die Hälfte (Jonas, 2012). Die Entwicklung des maximalen Neuschnees – als Folge starker Schneefälle – variiert in Graubünden räumlich und zeitlich sehr stark. In Tallagen wie etwa in Chur (556 m ü. M.) wurde eine maximale Neuschneemenge pro Tag und Jahr zwischen wenigen cm (z. B. 1998) bis 80 cm (im Jahr 1982) gemessen. In subalpinen Lagen wie etwa in Arosa (1840 m ü. M.) erreichte der maximale Neuschnee zwischen 20 cm (im Jahr 2003) und einem Meter (im Jahr 1982; MeteoSchweiz, 2012). Die Anzahl Tage mit Neuschnee und die Neuschneesummen unterliegen zudem grossen dekadischen Schwankungen (MeteoSchweiz, 2012).

3.2.2 Klimaszenarien

Die zukünftige Entwicklung des Klimas wird in verschiedenen Publikationen und Berichten skizziert. Das umfassendste Dokument, die Klimaszenarien CH2011, wurde vom Swiss climate research network entwickelt. Die Klimaszenarien basieren auf Emissionsszenarien der IPCC Berichte und auf einem grossen europäischen Klimaforschungsprojekt. Für das vorliegende Arbeitspapier werden aus CH2011 die regionalen Szenarien Ostschweiz (CHNE) gewählt (vgl. CH2011, 2011). Dort wo die Klimaszenarien für die Südschweiz erhebliche Abweichungen zeigen, werden diese in die Diskussion der Ergebnisse eingebracht. Die Indikatoren des Klimas wie Hitzetage oder Kühlgradtage stammen aus Zubler et al. (2014), während sich Aussagen zu Starkniederschlägen auch auf Rajczak et al. (2013) abstützen.

Die zukünftige Entwicklung wird in zwei verschiedenen Szenarien skizziert, dem Szenario 2060-schwach und dem Szenario 2060-stark. Die Version 2060-schwach berechnet die klimatische Entwicklung unter der Annahme, dass sich die CO₂-Belastung bei einer Konzentration von 450 ppm in der Atmosphäre stabilisiert (MeteoSchweiz, 2014a; CH2011, 2011). Das entsprechende Emissionsszenario RCP3PD geht davon aus, dass das international vereinbarte 2 °C-Ziel erreicht und eine Erwärmung global um mehr als 2 °C gegenüber vorindustriellen Verhältnissen verhindert wird. Die Version 2060-stark geht demgegenüber davon aus, dass das 2 °C-Ziel nicht erreicht wird. Die Emissionen nehmen demgemäss bis um 2050 weiter zu, bevor sie schliesslich leicht abnehmen (Szenario A1B, vgl. MeteoSchweiz, 2014a; CH2011, 2011).

Veränderung Mitteltemperatur

Die Klimaszenarien weisen für das Jahr 2060 eine erhebliche Zunahme der Temperatur aus. Die Berechnung der Risiken und Chancen des Klimawandels soll bei der Wahl der Klimaszenarien ein grosses Spektrum an möglichen klimatischen Entwicklungen abdecken. Das Szenario 2060-schwach rechnet deshalb mit dem Mittelwert des Szenarios RCP3PD (vgl. EBP/WSL/SLF, 2013a). Das Szenario 2060-stark rechnet mit der Obergrenze des Vertrauensbereichs von Szenario A1B. Mit der Wahl dieser Werte reichen die Veränderungen der Mitteltemperatur bis 2060 von plus 1.3 °C im Herbst (2060-schwach) bis plus 3.4 °C im Sommer (2060-stark; Details vgl. Tabelle 23).

Veränderung Nullgradgrenze

Null Grad definiert den Phasenwechsel von Wasser respektive Eis. Die Nullgradgrenze ist deshalb eine bedeutende Grenze. Sie liegt heute im Jahresmittel bei rund 2000 m ü. M. Gemäss 2060-schwach wird die Mitteltemperatur um knapp 2 °C ansteigen. Damit wird auch die Nullgradgrenze um 300 Höhenmeter auf rund 2300 m ü. M. ansteigen (die Nullgradgrenze steigt rund 150 bis 200 m pro 1°C Erwärmung, MeteoSchweiz, 2012). Durch den Anstieg der Nullgradgrenze liegen in Zukunft

zusätzliche 20 % der Kantonsfläche unterhalb der Nullgradgrenze. Beim Szenario 2060-stark steigt die Temperatur um 3 °C, was die Nullgradgrenze auf rund 2500 m ü. M. ansteigen lässt. Dadurch läge ein zusätzliches Drittel der Kantonsfläche unterhalb der Nullgradgrenze (vgl. Tabelle 6).

Veränderung Niederschlag

Die Schweiz liegt mitten in einer Übergangszone zwischen Nord- und Südeuropa, deren klimatische Entwicklungen voraussichtlich sehr unterschiedlich verlaufen werden (CH2011, 2011). So wird für Nordeuropa eine Zunahme der Niederschläge vorhergesehen, während für Südeuropa deren Abnahme prognostiziert wird, insbesondere im Sommer. Durch die Lage der Schweiz und auch des Kantons Graubünden in der Übergangszone können die zukünftigen Entwicklungen des Niederschlags nur mit sehr grossen Unsicherheiten abgeschätzt werden.

Die Szenarien des Niederschlags für das Jahr 2060 werden aus dem Bericht CH2011 (2011) übernommen. Für 2060-schwach wird analog zur Temperatur der Mittelwert des Szenarios RCP3PD gewählt. Für 2060-stark wird für den Sommer und den Herbst die Untergrenze des Szenarios A1B festgelegt. Für Winter und Frühling gilt hingegen die Obergrenze. Insgesamt zeigen die Schätzwerte im Szenario schwach für das Winterhalbjahr keine oder eine sehr geringe Zunahme bis 2 % des Niederschlags, für das Sommerhalbjahr hingegen eine Abnahme über 6 %. Das Szenario stark sieht im Winter rund 14 % mehr Niederschlag kommen, im Sommer hingegen fast 20 % weniger (CH2011, 2011; vgl. Tabelle 24). In der Summe verändert sich der Jahresniederschlag kaum (Zappa et al., 2012).

Veränderung Extremereignisse

Extremereignisse sind selten und entsprechend ist ihre Entwicklung nur schwer prognostizierbar. Während Extremwerte der Temperatur einigermaßen verlässlich in die Zukunft projiziert werden können (vgl. IPCC, 2013), gelingt dies bei Extremereignissen des Niederschlags oder von Stürmen kaum (CH2011, 2011). Die klimatischen Extremereignisse und ihre erwarteten Entwicklungen werden im folgenden Kapitel erläutert.

3.3 Die Entwicklung der Gefahren und Effekte

Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt sind verschiedenen Gefahren und Effekten ausgeliefert, deren Frequenz und/oder Intensität sich mit dem Klimawandel verändern wird. In diesem Kapitel werden die untersuchten Gefahren und Effekte beschrieben und ihre mögliche Entwicklung bis ins Jahr 2060 skizziert. Diese Beschreibungen bilden die Grundlage für die Bewertung der Risiken und Chancen der acht untersuchten Auswirkungsbereiche.

3.3.1 Veränderung Mitteltemperatur

Die Erwärmung ist das bedeutendste Indiz des Klimawandels. Die Temperatur bestimmt die Konsistenz des Niederschlags, die Dimensionen der Kryosphäre (Schneedecke, Gletscher, Permafrost), das Wachstum und die Entwicklung wechselwarmer Organismen und auch den Heiz- und Kühlbedarf in Wohnungen.

Beobachtungen in Graubünden

Die Mitteltemperatur ist je nach Standort und Jahreszeit sehr unterschiedlich hoch. In Kapitel 3.2.1 sind die Temperaturverhältnisse im Kanton beschrieben und in Tabelle 21 im Anhang sind die Jahresmittelwerte für verschiedene Stationen aufgelistet.

Trends und Tendenzen

Die Klimastationen im Kanton Graubünden zeigen seit 1900 eine Erwärmung um 1 bis 2 °C (MeteoSchweiz, 2012). Dieser Trend ist sowohl im Winter wie im Sommer stark signifikant. Parallel zur Lufttemperatur ist auch die Nullgradgrenze angestiegen. Die wärmeren Lufttemperaturen haben höhere Temperaturen der Gewässer nach sich gezogen. Die Temperatur der Fließgewässer ist in den vergangenen 40 Jahren um 0.1 bis 1.2 °C angestiegen (BAFU, 2012d). In stark vergletscherten Einzugsgebieten ist der Anstieg der Wassertemperatur weniger deutlich (Jakob 2010).

Die Klimaszenarien zeigen eine erhebliche Zunahme der Temperatur in den kommenden Jahrzehnten (vgl. Kapitel 3.2.2 und Tabelle 23). Dies führt zu einem weiteren Anstieg der Wassertemperatur und auch zu einem Ansteigen der Nullgradgrenze, mit Auswirkungen auf das Verhältnis von Regen zu Schnee im Niederschlag.

Unsicherheiten

Die Prognosen zur Veränderung der Mitteltemperatur sind vergleichsweise sicher. Die Analyse rechnet entsprechend mit geringen Unsicherheiten (vgl. Tabelle 7).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Die Analyse der Gefahr/des Effektes Veränderung Mitteltemperatur rechnet mit den modellierten Daten von CH2011 (2011). Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Wirkung veränderter Mitteltemperaturen für die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie und Biodiversität.

Tabelle 7. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Veränderung Mitteltemperatur.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Mitteltemperatur 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung um 1 bis 2 °C seit 1900 	<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung von Luft und Wasser • Rascheres Wachstum wechselwarmer Organismen, geringerer Heizbedarf etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitteltemperatur weiter zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwache Datenbasis in hohen Lagen • Unsicherheit gering

3.3.2 Hitzewelle

Unter einer Hitzewelle versteht man eine längere Periode mit ungewöhnlich hohen Temperaturen. Es gibt keine allgemein gültige Definition für eine Hitzewelle, da der Begriff vom üblichen Wetter der jeweiligen Region abhängig ist (Bildungsserver, 2015). In der Schweiz treten Hitzewellen meist im Zusammenhang mit einer Hochdrucklage und einer süd- bis südwestlichen Anströmung auf, welche heisse und trockene Luft zum Alpenraum führt. Hitzeperioden mit täglichen Höchstwerten im Bereich von 30 °C oder höher treten am häufigsten in der West- und Nordwestschweiz auf (MeteoSchweiz, 2015). Hitzewellen können die Gesundheit erheblich gefährden.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Hitzewellen haben in den vergangenen Jahrzehnten auch Graubünden wiederholt heimgesucht. So wurden in den Jahren 2003, 2006 und zuletzt auch 2015 längere Hitzeperioden registriert. Im Juli 2006 lagen die höchsten 14-Tagesmittel in der Ostschweiz bei knapp 31 Grad. Im August 2003. Wurde in Grono das höchste Tagesmaximum von 41.5 Grad registriert (MeteoSchweiz, 2015).

Hitzetage und Tropennächte sind in Graubünden Klimaphänomene tiefer Lagen (vgl. Kapitel 3.2.1 und Tabelle 22). Am meisten Hitzetage zählen das Churer Rheintal und ganz besonders das untere Misox. Ob Hitzewellen in Graubünden bis anhin gesundheitliche Beeinträchtigungen nach sich zogen oder wie sehr sie die Arbeitsleistung verringert haben, kann nicht beurteilt werden.

Trends und Tendenzen

Intensive Hitzeperioden sind in den letzten Jahrzehnten häufiger geworden (MeteoSchweiz, 2015). In Regionen, welche immer wieder von Hitzeperioden betroffen waren, wie zum Beispiel in der Westschweiz, folgen sie sich heute in kürzeren Zeitabständen. CH2011 (2011) rechnet mit einer zunehmenden Frequenz, Intensität und Dauer der Hitzewellen, auch in höheren Lagen des Kantons. Im unteren Misox, der wärmsten Region Graubündens, werden bis ins Jahr 2060 zusätzlich 30 bis über 60 Hitzetage erwartet (vgl. Tabelle 22). Hitzetage werden auch in subalpinen Lagen gelegentlich vorkommen. Tropennächte werden neu auch in montanen Lagen die Bevölkerung belasten.

Unsicherheiten

Gemäss den vorliegenden Klimaszenarien ist bis Ende des Jahrhunderts eine starke Zunahme von Hitzewellen sehr wahrscheinlich (MeteoSchweiz, 2015). Die Unsicherheiten in der Prognose sind vergleichsweise gering. Demgegenüber ist die Wirkung der Hitze auf den Menschen noch nicht ganz klar (vgl. Kapitel 4.3). Die Analyse rechnet mit mittleren Unsicherheiten (vgl. Tabelle 8).

Annahmen für die Risiken-Chancen-Bewertung

Es ist davon auszugehen, dass Hitzewellen häufiger werden und auch in höher gelegenen Regionen verspürt werden. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Hitzewelle rechnet mit den modellierten Daten von Zubler et al., 2014. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen von Hitzewellen für die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Energie und Tourismus untersucht.

Tabelle 8. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Hitzewellen.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung von Hitzewellen 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Zunehmende Häufigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Hitzetage, mehr Tropennächte • Erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz und Intensität von Hitzewellen zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenig divergierende Prognosemodelle, teilweise unklare Auswirkungen • Unsicherheit mittel

3.3.3 Frost

Temperaturen um null Grad sind bedeutend, weil sie im Bereich des Phasenwechsels von Wasser zwischen flüssig und fest (Eis) liegen. Frostereignisse sind typische Klimaphänomene der kalten Jahreszeit, sie treten aber auch in der warmen Jahreszeit hin und wieder auf. Während der Vegetationszeit wirkt Frost verheerend. Er kann austreibende Sprosse beschädigen oder ganze Pflanzen zerstören.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Alle Gebiete im Kanton Graubünden erleben mehr oder weniger oft Temperaturen unter null Grad (vgl. Kapitel 3.2.1). Frost verursacht hin und wieder Schäden an der natürlichen Vegetation und an Pflanzenkulturen. So zeigten etwa im Jahr 2014 einige Rebstöcke der Bündner Herrschaft beschädigte Triebe, verursacht durch Temperaturen unter null Grad Mitte April. Im Bereich der Waldgrenze sind abgefrorene Triebspitzen junger Bäume ein typisches Phänomen von Früh- oder Spätfrost.

Trends und Tendenzen

Im Kanton Graubünden wurden in den vergangenen 50 Jahren an allen Stationen immer weniger Frosttage registriert. Die Abnahme beträgt zwischen 15 und 45 %, was einer Abnahme von 20 bis 50 Frosttagen entspricht (MeteoSchweiz, 2012). An der Station Chur etwa wurden im Mittel der Jahre 1961 bis 1990 durchschnittlich 103 Frosttage gezählt, im Mittel der Jahre 1981 bis 2010 sind sie auf 84 zurückgegangen. Dieser Trend rückläufiger Frosttage wird weiter anhalten.

Unsicherheiten

Die Prognose zur zukünftigen Entwicklung von Frostereignissen ist vergleichsweise sicher. Die Analyse stuft die Unsicherheiten entsprechend als gering ein (vgl. Tabelle 9).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Die Analyse der Gefahr/des Effektes Frost rechnet mit den modellierten Daten von Zubler et al., 2014. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Landwirtschaft und Biodiversität analysiert.

Tabelle 9. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Frost.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Frost 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Rückgang der Anzahl Frosttage an allen Klimamessstationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Rückgang der Frostereignisse während der Vegetationszeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Frosttage weiter abnehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenig divergierende Prognosemodelle • Unsicherheit gering

3.3.4 Änderung Niederschlagsregime

Unter dem Begriff Niederschlagsregime wird in der vorliegenden Analyse die Menge, Art und die saisonale Verteilung des Niederschlags verstanden. Das lokale Niederschlagsregime bestimmt wesentlich die (land)wirtschaftlichen Möglichkeiten und die Ausprägung der Biodiversität. Gelegentlich werden Infrastruktur und Gebäude durch Starkniederschläge beschädigt.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Grundsätzlich weist der Niederschlag in Graubünden eine grosse räumliche Variation auf und er schwankt erheblich von Jahr zu Jahr. Die Menge, die Art und die saisonale Verteilung des Niederschlags folgen im Verlauf des Jahres einem regional typischen Muster (vgl. Kapitel 3.2.1 und Tabelle 21). Schneefall in hohen Lagen auch im Sommer und heftige Regenfälle in den Südtälern sind typische Niederschlagsphänomene in Graubünden.

Trends und Tendenzen

Der mittlere Niederschlag zeigt keinen eindeutigen Trend (MeteoSchweiz, 2012). Hingegen hat sich das Verhältnis Schnee zu Regen deutlich verringert. In Chur etwa wurden von 1961 bis 2008 pro Jahrzehnt 3 Tage mit Neuschnee weniger gemessen bei unverändertem Jahresniederschlag (MeteoSchweiz, 2012). Die Entwicklung von Starkniederschlägen ist unklar. Nur die Station Chur weist eine statistisch knapp gesicherte Zunahme der Anzahl Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm auf (Zeitraum 1961 bis 2011). Die saisonale Verteilung des Niederschlags hat sich bis anhin kaum verändert.

Die Jahressummen des Niederschlags werden sich in Zukunft kaum verändern (Zappa et al., 2012), hingegen wird sich eine saisonale Umverteilung einstellen (weniger Niederschlag im Sommer, mehr Niederschlag im Winter; vgl. Kapitel 3.2.2 und Tabelle 24). Zudem könnte es zu mehr Starkniederschlägen kommen, besonders im Herbst (CH2011, 2011; Rajczak et al., 2013). Die Schneetage werden vor allem in höheren Lagen weiter abnehmen, zugunsten der Regentage.

Unsicherheiten

Die saisonale Umverteilung des Niederschlags in Zukunft scheint unbestritten, während die Entwicklung der Starkniederschläge sehr unsicher ist. Je nach Prognosemodell variiert im Winter der Niederschlag von 5-tägiger Dauer im 2060 um +/- 10 % im Vergleich zu heute (CH2011, 2011). Auf der Alpensüdseite variieren die entsprechenden Werte um minus 15 % bis plus 30 % (Mittelwert um plus 3 %; CH2011, 2011). Steigende Temperaturen werden hingegen mit grosser Sicherheit dazu führen, dass es künftig mehr regnet als schneit. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Änderung des Niederschlagsregimes rechnet insgesamt mit mittleren Unsicherheiten (vgl. Tabelle 10).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Das Niederschlagsregime wird sich erheblich verändern. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Änderung Niederschlagsregime rechnet mit den modellierten Niederschlagsdaten von CH2011 (2011) für die saisonale Verschiebung des Niederschlags. Die Analyse rechnet in Anlehnung an bisherige Entwicklungen der Tage mit Schneefall mit einem mässigen Rückgang, und mit einer mässigen Zunahme der Starkniederschläge, in Anlehnung an Rajczak et al., 2014. Die Risiken und Chancen werden für die Auswirkungsbereiche Energie, Infrastruktur/Gebäude, Wasserwirtschaft und Biodiversität analysiert.

Tabelle 10. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Änderung Niederschlagsregime.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Änderung Niederschlagsregime 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> Keine Veränderung der Niederschlagssummen, mehr Regen statt Schnee, Tendenz mehr Starkregen nur in Chur signifikant) 	<ul style="list-style-type: none"> Anstieg der Mitteltemperatur und entsprechend der Luftfeuchtigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Weiterer Rückgang der Tage mit Schneefall Saisonale Verschiebung des Niederschlags, ev. mehr Starkniederschlag 	<ul style="list-style-type: none"> Stark divergierende Prognosemodelle zum (Stark-) Niederschlag, grosse räumliche Variabilität Unsicherheit mittel

3.3.5 Trockenheit

Trockenheit bezeichnet ein Niederschlagsdefizit (meteorologische Trockenheit), eine ungenügende Bodenfeuchte (landwirtschaftliche Trockenheit) oder eine tiefe Abflussrate oder tiefe Grundwasserstände (hydrologische Trockenheit; Björnson Gurung und Stähli, 2014). Die Phänomene treten oft kombiniert auf. Das Jahr 2003 hatte gerade für die Landwirtschaft verheerende Folgen. Im Jahr 2011 präsentierten sich niedrige Wasserstände und ausgetrocknete Böden (WSL, 2014c).

Beobachtungen im Kanton Graubünden

In Graubünden ist Trockenheit grundsätzlich nicht selten, sie tritt aber regional und saisonal unterschiedlich häufig auf. Für die Region Mittelbünden und das Engadin sind trockene Bedingungen typisch (MeteoSchweiz, 2012).

Trends und Tendenzen

Bis anhin weist die Anzahl zusammenhängender Trockentage keine statistisch signifikanten Trends auf (Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag, Zeitraum 1961-2011). Die geringfügigen Zu- und Abnahmen lassen bis anhin keine Aussage über langfristige Änderungen zu (MeteoSchweiz, 2012).

Trockenheit wird in Zukunft häufiger vorkommen. Gemäss CH2011 steigt das Risiko durch Sommer-trockenheit grundsätzlich an, weil die Mitteltemperatur und die Evapotranspiration ansteigen, und die Schneeschmelze und der Start der Vegetationszeit früher eintreten (CH2011, 2011). Die hydrologische Trockenheit wird sich in den Alpen vom Winter mehr in den Spätsommer verschieben (BAFU, 2012d). In hoch gelegenen glazialen Einzugsgebieten präsentiert sich die Lage anders. Hier dürfte sich die Niedrigwassersituation entspannen, selbst wenn die Abflüsse im Spätsommer generell kleiner werden (BAFU, 2012d).

Unsicherheiten

Die Klimamodelle unterscheiden sich erheblich in ihren Prognosen zu zukünftigen Trockenphasen. Sie reichen für die Nordostschweiz von plus 50 % bis minus 5 %, bei einem Mittelwert um plus 20 % mehr aufeinander folgender Trockentage (Szenario A1B, CH2011, 2011). Die Analyse rechnet mit mittleren Unsicherheiten (vgl. Tabelle 11), entsprechend CH2011, 2011.

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist damit zu rechnen, dass Trockenphasen in Zukunft häufiger werden. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Trockenheit rechnet in Anlehnung an die Klimamodelle mit einer geringen Zunahme nacheinander folgender Trockentage (2060-schwach), respektive mit einer mässigen Zunahme (2060-stark), in Anlehnung an CH2011 (2011). Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Wasserwirtschaft und Biodiversität.

Tabelle 11. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Trockenheit.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Trockenheit 2060	Unsicherheiten
Tendenziell zunehmende Sommertrockenheit, jedoch keine robusten Trends.	Rückgang der Niederschläge im Sommer, höhere Temperaturen, höhere (Eva-po)Transpiration.	<ul style="list-style-type: none"> Die Anzahl nacheinander folgender Trockentage nimmt zu. 	Stark divergierende Prognosemodelle <ul style="list-style-type: none"> Unsicherheit mittel

3.3.6 Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher

Die Reduktion der Schneedecke und das Abschmelzen der Gletscher sind bedeutende Effekte des Klimawandels in höheren Lagen. Schnee und Eis sind wichtige Zwischenspeicher von Wasser. Schnee ist zudem die Fracht der Lawinen, der Untergrund für den Schneesport oder die Tarnung und Wärmedämmung für viele Lebewesen. Auf Verkehrswegen erschweren Schnee und Eis die Befahrbarkeit und bescheren dem Winterstrassendienst viel Aufwand. Die Schneedecke hat ausserdem eine kühlende Wirkung auf das Klima, indem sie einen grossen Teil der einfallenden Strahlung reflektiert.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Die Schneebedeckung ist regional sehr unterschiedlich. In Tallagen werden in der Regel nur wenige Zentimeter Schnee gemessen, während die Schneedecke in grosser Höhe mehrere Meter erreichen kann (maximal 356 cm 1999 auf Weissfluhjoch (2690 m ü. M.)). Auch die jährliche Variabilität ist sehr gross. Im Jahr 1973 erreichte die Schneedecke auf dem Weissfluhjoch nur gerade 150 cm (MeteoSchweiz, 2012). Die Spanne der Tage mit einer Gesamtschneehöhe ≥ 5 cm reicht im Mittel pro Jahr von ca. 25 Tagen in Chur bis über 250 Tagen auf dem Weissfluhjoch. Abgesehen von hochgelegenen Stationen weisen die Messstationen im Kanton abnehmende maximale Neuschneemengen auf. Diese Tendenzen sind statistisch allerdings nicht signifikant (MeteoSchweiz, 2012).

Gletscher prägen das Landschaftsbild im Gebirge. Die 444 Bündner Gletscher bedecken eine Fläche von rund 183 km² (AfW, 2009). Dies entspricht rund 2.5 % der Kantonsfläche. Die grosse Mehrzahl der Gletscher ist kleiner als ein Quadratkilometer (AfW, 2009). Der grösste Bündner Gletscher ist der Vadret da Morteratsch, welcher eine Fläche von 16.4 km² und eine Länge von 7 km ausweist (VAW, 2014). Besonders eindrücklich ist die Gletscherlandschaft rund um die Bernina-Gruppe.

Trends und Tendenzen

Die Reduktion der Schneedecke äussert sich in der Schneehöhe und in der Liegedauer des Schnees. Die Messstationen verzeichnen einen signifikanten Rückgang der winterlichen Schneedecke (vergangene 50 Jahre, Gesamtschneehöhe ≥ 30 cm). In Arosa, Davos und Disentis nimmt die Schneeliegedauer um minus 7 bis minus 8 Tage pro 10 Jahre und auf dem Weissfluhjoch ca. minus 5 Tage pro 10 Jahre ab (MeteoSchweiz, 2012). Auch die Neuschneesummen und die Anzahl Tage mit Neuschnee gehen zurück (MeteoSchweiz, 2012). Zudem geht die maximale Schneehöhe zurück, ausser an Standorten in hohen Lagen. Gerade die lange Messreihe von Arosa zeigt allerdings auch, dass die Schneehöhe starken dekadischen Schwankungen unterliegt (MeteoSchweiz, 2012) und auch jährlich erheblich variiert (Jonas, 2012).

Parallel zum Rückgang der Schneedecke haben die Gletscher in den vergangenen Jahrzehnten erheblich an Eis verloren. Nach den neusten Hochrechnungen verlieren die Gletscher im gesamten Alpengebiet gegenwärtig jährlich etwa 40 km² ihrer heutigen Fläche von 1800 km² (Bjørnsen Gurung und Stähli, 2014). Die Volumen der Bündner Gletscher haben sich seit 1850 halbiert. Der Vadret da Morteratsch hat im gleichen Zeitraum rund 3.2 km² Fläche verloren (AfW, 2009). Im Vorfeld schmelzender Gletscher bilden sich neue Seen und das neue Land wird oft rasch von Pflanzen besiedelt.

Unsicherheiten

Die Reduktion der Schneedecke und das Abschmelzen der Gletscher sind vergleichsweise sichere Entwicklungen. Die dekadischen Schwankungen im Schneefall erschweren allerdings die Prognosen. Die Analyse rechnet mit geringen Unsicherheiten (vgl. Tabellen 12 und 13).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist davon auszugehen, dass die Schneebedeckung weiter abnimmt. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Reduktion Schneedecke rechnet mit einer mässigen (2060-schwach), respektive mit einer erheblichen Reduktion der Schneedecke (2060-stark), in Anlehnung an die bisherigen Entwicklungen.

Die Gletscher werden mit der anhaltenden Erwärmung in Zukunft weiter schmelzen. Zahlreiche der kleinen Gletscher werden möglicherweise in den nächsten Jahrzehnten verschwinden (AfW, 2009). Die Analyse der Gefahr/des Effektes Abschmelzen Gletscher rechnet mit einem mässigen (2060-schwach), respektive mit einem erheblichen Rückgang des Eises (2060-stark), in Anlehnung an die bisherigen Entwicklungen. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen dieser Entwicklungen für die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Tourismus sowie Biodiversität geprüft.

Tabelle 12. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Reduktion der Schneedecke.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Schneedecke 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Rückgang Schneeliegedauer, Rückgang Gesamtschneehöhe mit Ausnahme hoher Lagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen Temperatur, Ansteigen Schneefallgrenze, mehr Niederschlag im Winter, reduziertes Speichervermögen, verkürzte Skisaison, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abnahme der Schneehöhe • Abnahme der Schneeliegedauer • Abnahme der Anzahl Tage mit Neuschnee 	<ul style="list-style-type: none"> • Grosse jährliche und dekadische Schwankungen • Unsicherheit gering

Tabelle 13. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Abschmelzen der Gletscher.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Gletscher 2060	Unsicherheiten
Rückgang von Fläche und Volumen an allen Gletschern im Kanton	Ansteigen Temperatur, Ansteigen Schneefallgrenze, mehr Niederschlag im Winter, Landschaftliche Veränderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterhin erheblicher Rückgang von Länge und Volumen der Gletscher, Verschwinden zahlreicher kleiner Gletscher 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen der Gletscher unklar, sichere Prognosen • Unsicherheit gering

3.3.7 Auftauen Permafrost

Oberhalb von rund 2400 m ü. M. kann man im Untergrund auf Permafrost stossen (BAFU, 2014b). Permafrost kommt auf rund 6 % der Fläche der Schweizer Alpen vor, wobei alle Bodenarten (Fels, Schutthalden, Moränen etc.) gefroren sein können (SLF, 2014b). Im Sommer erwärmt sich die oberste Schicht des Bodens, die sogenannte Auftauschicht. Permafrost ist in komplexer Art und Weise von den Umweltbedingungen abhängig. Die Schneebedeckung, das Gestein, die Exposition, die Topographie und die Hydrologie eines Gebietes beeinflussen die Temperaturen des Untergrunds (Zenklusen Mutter et al. 2010). Tauender Permafrost hinterlässt oftmals losen Schutt, der in Verbindung mit starkem Regen zu Murgängen führen kann. Bauten über Permafrost können instabil werden, wenn das Eis schmilzt (SLF, 2014b).

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Blockgletscher, zahlreiche Schutthalden und Fels in Höhenlagen über 2400 m ü. M. sind möglicherweise mit Permafrost durchzogen. Der Permafrost wird an verschiedenen Standorten im Kanton überwacht. In zehn Bohrlöchern werden in Höhen von 2400 m ü. M. (Flüelapass) bis 2940 m ü. M. (Muot da Barba Peider) die Entwicklung der Temperatur erhoben (PERMOS, 2014).

Trends und Tendenzen

Tendenziell scheint die Temperatur des Permafrosts zu steigen. So wurde festgestellt, dass der Permafrost in 10 m Tiefe um rund 0.4 °C pro Jahrzehnt wärmer wurde (Haeberli und Gruber, 2009). Gleichzeitig stiegen die Temperaturen in der Auftauschicht im Sommer um 0.8 °C an (Haeberli und Gruber, 2009). Saisonal scheint sich der Permafrost unterschiedlich zu entwickeln. An verschiedenen Messstellen in den Alpen wurde eine Abkühlung im Winterhalbjahr und eine Erwärmung im Sommer festgestellt (Zenklusen Mutter et al. 2010). Dies wird auf Veränderungen in der Schneebedeckung zurückgeführt.

Unsicherheiten

Die zukünftige Entwicklung des Permafrosts ist vergleichsweise unsicher. Durch die komplexe Wechselwirkung mit der Umgebung sind sichere Aussagen zu zukünftigen Veränderungen nur schwer möglich. Steigende Mitteltemperaturen in Kombination mit einer schwindenden Schneedecke sprechen grundsätzlich dafür, dass sich der Boden erwärmt und das Eis schmilzt (vgl. Tabelle 14). Ein Rückgang der Schneebedeckung in hohen Lagen könnte aber auch dazu führen, dass der Boden länger der Kälte ausgesetzt ist und deshalb stärker auskühlt. Die Analyse rechnet mit mittleren Unsicherheiten.

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Auf Grund dieser Argumente ist davon auszugehen, dass der Permafrost an seiner unteren Verbreitungsgrenze auftauen wird, während er sich in hohen Lagen kaum verändert. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Auftauen Permafrost rechnet mit einem geringen (2060-schwach) bis mässigen (2060-stark) Auftauen des Permafrosts, in Anlehnung an die bisherigen Entwicklungen und die Prognosen zu Niederschlag und Temperatur. Das vorliegende Arbeitspapier analysiert die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Infrastruktur/Gebäude, sowie Biodiversität. Zudem wird der Permafrost für die Gefahr/den Effekt Steinschlag/Felssturz/Bergsturz diskutiert.

Tabelle 14. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Auftauen Permafrost.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Auftauen Permafrost 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Tendenziell Anstieg von Temperatur und Mächtigkeit der Auftauschicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen Temperatur, mehr Niederschlag im Winter, mehr Regen statt Schnee 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen der unteren Verbreitungsgrenze 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der isolierenden Schneedecke, grosse jährliche Variabilität • Unsicherheit mittel

3.3.8 Lawinen

Lawinen sind typische Phänomene des Winters. Für Lawinenanrisse ist massgeblich, wie die Schneedecke aufgebaut ist, wie hoch der Schnee liegt und wie warm und feucht er ist. Fällt in kurzer Zeit viel Schnee, sind spontane Lawinenabgänge häufiger zu beobachten. Die Folgen von Lawinen sind oft verheerend. Schweizweit fordern Lawinen durchschnittlich 25 Todesopfer pro Jahr, die meisten von ihnen beim Schneesport (über 90 %; Techel und Zweifel, 2013). Durchschnittlich 2 bis 3 Todesopfer pro Jahr fordern Lawinen in Graubünden auf Strassen oder im Siedlungsbereich. Im vorliegenden Arbeitspapier werden ausschliesslich Ereignisse im Siedlungsbereich berücksichtigt. Ihre Auslösung ist weitgehend klimatisch bedingt.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Durchschnittlich 29 Lawinen pro Jahr richten in Graubünden Schäden an und fordern hin und wieder auch Todesopfer (AWN, 2014a). Herausragend war der Lawinenwinter 1999, als im Februar im gesamten Kantonsgebiet 160 Schadenlawinen niedergingen und an Menschen, Wald- und Landwirtschaft, sowie Infrastruktur und Gebäude direkte Schäden von rund 27 Mio. Franken anrichteten (AWN, 2014a). Auch der Lawinenwinter 1951 richtete erhebliche Schäden an (vgl. GraNat, 2014a).

Trends und Tendenzen

Die Lawinenaktivität hat sich bis anhin nicht verändert (Marty et al., 2009). Die entscheidenden Klimaparameter weisen hingegen auf eine Abnahme der Lawinenaktivität hin, zumindest in tieferen Lagen. Die Schneehöhe ist räumlich und zeitlich rückläufig. Demgegenüber fördern zunehmender Niederschlag im Winter und allenfalls mehr Starkniederschläge die Voraussetzungen für Lawinenanrisse, zumindest in grösserer Höhe. Da die Schneedecke im wärmeren Klima rascher durchfeuchtet wird, muss zudem vermehrt mit Nassschneelawinen gerechnet werden. Lawinen können bei geringerer Schneehöhe jedoch weniger Fracht aufnehmen. Dadurch verringern sich Intensität und Reichweite. Nassschneelawinen haben eine kürzere Reichweite als trockene Lawinen.

Unsicherheiten

Die Prognose temperaturabhängiger Aspekte (Schneefallgrenze, Schneehöhe, Schneeliegedauer) weist eine eher kleine Unsicherheit auf. Demgegenüber sind die Prognosen für Starkniederschläge unsicher (vgl. Kapitel 3.3.4 und CH2011, 2011). Ungewiss bleiben Kombinationen lawinenfördernder Faktoren, z. B. kalte Temperaturen und anhaltende Niederschläge. Die Analyse rechnet mit mittleren Unsicherheiten (vgl. Tabelle 15).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Die klimatischen Entwicklungen lassen vermuten, dass die Anzahl Lawinenanrisse und die Intensität und Reichweite der Lawinen zurückgehen werden. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Lawinen rechnet mit einem mässigen (2060-schwach) bis erheblichen (2060-stark) Rückgang der Frequenz und der Intensität häufiger Lawinen. Dagegen wird angenommen, dass die Frequenz und die Intensität seltener Lawinen (50-jährliche Ereignisse) zunehmen wird und zwar mässig (2060-schwach) bis erheblich (2060-stark). Die Risiken und Chancen dieser Entwicklung werden für die Auswirkungsbe- reiche Gesundheit, Waldwirtschaft, Tourismus sowie Infrastruktur/Gebäude analysiert.

Tabelle 15. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Lawinen.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Lawinen 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Bis anhin keine Trends erkennbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen Schneefallgrenze, mehr Niederschlag im Winter, kürzere Schneeliegedauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz und Intensität häufiger Ereignisse abnehmend, seltener Ereignisse zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung (Stark)-Niederschlag, Kombination entscheidender Klimaparameter. • Unsicherheit mittel

3.3.9 Hochwasser

Bei Hochwasser liegt der Wasserstand der Gewässer über dem normalen bzw. mittleren Pegelstand. Auslöser für Hochwasser sind hauptsächlich starke Regenfälle. Sie wirken sich verheerend aus, wenn die Wasserspeicher (Grundwasser, Seen, Fließgewässer und Boden) gefüllt sind (Björnsen Gurung und Stähli, 2014). Grossflächige Hochwasser sind in der Regel auf grossräumige Wetterlagen zurückzuführen, während in kleinen Einzugsgebieten Sommergewitter die grösste Gefahr bilden (Petrascheck, 2003). Hochwasser treten in Graubünden oft kombiniert mit Murgängen auf (vgl. Kapitel 2.3.3). Ein Murgang (er wird auch als Rufe bezeichnet) ist ein zäh bis schnell fließendes Gemenge aus Wasser und Feststoffen (PLANAT, 2014a). Murgänge reissen vorzugsweise in steilem Gelände mit losem Geschiebe oder instabilen Böschungen an. Starke Regenfälle können Schwemmmaterial mobilisieren, da sie die Kohäsion zwischen Gestein und Felsblöcken verringern. Schweizweit haben Hochwasser und Überflutungen in den Jahren 1972 bis 2007 Schäden von insgesamt rund 11.5 Mia. Franken angerichtet, wobei die Ereignisse vor allem im Sommer auftraten (Hilker et al. 2009). Die grössten Hochwasser der Schweiz entstehen in den nordwestlich exponierten Voralpen und in der Südschweiz. In den Jahren von 1972 bis 2007 verursachten Murgänge schweizweit Schäden im Umfang von ungefähr 550 Mio. Franken (Hilker et al., 2009).

Beobachtungen im Kanton Graubünden

In Graubünden haben Hochwasser und Murgänge in den vergangenen 24 Jahren Schäden an Infrastruktur und Gebäuden von rund 31 Mio. Franken verursacht und drei Todesopfer gefordert (GVG, 2014a; AWN, 2014a). Besonders verheerend waren die Ereignisse im Jahr 2005 in der Gegend von Klosters im Prättigau und Susch im Engadin.

Trends und Tendenzen

Hochwasser weisen eine gewisse Periodizität auf (Björnsen Gurung und Stähli, 2014) und bis anhin ist kein Trend erkennbar, welcher gesicherte Aussagen über eine Zu- oder Abnahme der Schadenereignisse zulässt (Hilker et al., 2009).

In Zukunft dürften die Hochwasserereignisse in der Schweiz zunehmen. Modelle zeigen eine Tendenz zu höheren Hochwasserabflussspitzen, besonders in der fernerer Zukunft (um das Jahr 2085; z. B. Zappa et al., 2012). Die Saison der Hochwasserereignisse dürfte sich gegen das Frühjahr hin und in den Herbst verlängern (Björnsen Gurung und Stähli, 2014), weil es bis in grössere Höhen regnen wird. Schnee und Eis werden durch die zunehmende Wärme früher im Jahr schmelzen und zusammen mit zunehmendem Niederschlag den Wasserabfluss im Frühjahr vergrössern. Die Schäden durch Murgänge nehmen schweizweit leicht zu, nicht aber ihre Häufigkeit (Hilker et al., 2009). In Zukunft könnten die Starkniederschläge vermehrt Murgänge auslösen, vor allem im Herbst (CH2011, 2011; vgl. Tabelle 16). Zunehmendes Schwemmmaterial an Gletschern und über Permafrost schafft die Voraussetzung für neue Murgänge.

Unsicherheiten

Starkregen spielt eine bedeutende Rolle als Auslöser für Hochwasser und auch für Murgänge. Die Modelle zur zukünftigen Entwicklung von Starkregen divergieren erheblich (vgl. Rajczak et al., 2013; CH2011, 2011). Unklar ist zudem, wie rasch neu vom Eis freigelegtes Geschiebe stabilisiert wird oder wie gut die Wasserspeicher zusätzliches Wasser aufnehmen können. Die Analyse rechnet mit grossen Unsicherheiten.

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist damit zu rechnen, dass Hochwasser (inklusive Murgänge) in Zukunft zunehmen werden. Die klimatischen Entwicklungen und die Prozessmodelle lassen vermuten, dass die Frequenz und die Abflussspitzen zunehmen werden. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Hochwasser rechnet mit einer geringen (2060-schwach) bis mässigen (2060-stark) Zunahme der Frequenz und der Intensität

häufiger Ereignisse. Seltenen Ereignissen (30-jährlich) ordnet die Analyse eine mässige (2060-schwach) bis (erhebliche (2060-stark) Zunahme der Frequenz und der Intensität zu. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Infrastruktur/Gebäuden, Wasserwirtschaft und Biodiversität analysiert.

Tabelle 16. Grundlagen und Annahmen der Analyse Hochwasser (inklusive Murgang).

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Hochwasser 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasser: bis anhin keine Veränderungen festgestellt. • Murgänge: zunehmende Schäden, keine Trends der Häufigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen Temperatur, Ansteigen Schneefallgrenze, mehr Niederschlag im Winter, weniger Niederschlag im Sommer, möglicherweise mehr Starkniederschläge, Rückgang der Kryosphäre, Schneeschmelze früher, Wasserspeicher tendenziell im Frühjahr mehr, im Sommer weniger voll. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz und Intensität von Hochwasser (inkl. Murgang) zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung (Stark)-Niederschlag, Zusammentreffen von Schneeschmelze und Niederschlag, Auftauen Kryosphäre, • Unsicherheit gross

3.3.10 Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Steinschlag verzeichnet Blöcke bis 2 m Durchmesser, während ein Felssturz Felsmassen von 100 bis 100 000 m³ Material bewegt. Bei einem Bergsturz fallen noch grössere Felsmassen zu Tal (PLANAT, 2014d). Die verschiedenen Prozesse werden durch unterschiedliche Faktoren ausgelöst. Steinschlag scheint wesentlich durch Niederschlagsereignisse oder Frost-Auftauzyklen ausgelöst zu werden (Sass, 2005). Kalte Temperaturen und Porenwasser sind mögliche Auslöser für Felsstürze (Sass und Oberlechner, 2012). Das Ausbruchgebiet von Steinschlagereignissen liegt oft im Bereich des Permafrosts (Noetzli et al., 2003). Bergsturzereignisse sind derart selten, dass die Analyse der entscheidenden klimatischen Faktoren kaum möglich ist (Sass und Oberlechner, 2012). Steinschlag, Fels- und Bergstürze richten jährlich erhebliche Schäden an Gebäuden und Infrastruktur an, beschädigen Wald und landwirtschaftliche Kulturen und fordern auch Verletzte und Todesopfer.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Kleinere Ereignisse sind nicht selten. In den vergangenen Jahren stürzten Felsmassen etwa beim Piz Scerscen zu Tal (AfW, 2009). Das grösste bekannte Ereignis in Graubünden ist der Flimser Bergsturz vor rund 10 000 Jahren, das grösste Ereignis seiner Art in den Alpen (GraNat, 2014b).

Trends und Tendenzen

Bis anhin gibt es gemäss Hilker et al. (2009) keinen signifikanten Trend dieser Naturereignisse über die Zeit. Die StorMe-Daten zeigen zwar eine markante Zunahme der registrierten Ereignisse. Dies ist jedoch eher auf die gesteigerte Aufmerksamkeit der Datensammler zurückzuführen. Die Daten der Gebäudeversicherung spiegeln diesen Trend denn auch nicht wider (GVG, 2014a). Berg- und Felsstürze sind in den Daten kaum repräsentiert.

Gemäss der Klimaanpassungsstrategie des Bundes werden Steinschlag, Berg- und Felsstürze in den kommenden Jahrzehnten wahrscheinlich häufiger auftreten. Begründet wird dies mit zunehmend freigelegtem Geschiebe und mit dem allmählich auftauenden Permafrost (BAFU, 2012b).

Unsicherheiten

Die Bedeutung der klimatischen Faktoren für das Auslösen von Steinschlag, Berg- und Felsstürzen scheint noch nicht völlig geklärt. Die Prognosen zur Entwicklung der Gefahr/des Effektes Steinschlag, Fels- und Bergsturz sind deshalb unsicher, sodass die Analyse mit grossen Unsicherheiten rechnet (vgl. Tabelle 17).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist damit zu rechnen, dass die Ereignisse zunehmen werden. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Steinschlag/Felssturz/Bergsturz rechnet mit einer geringen (2060-schwach) bis mässigen (2060-stark) Zunahme der Frequenz und der Intensität häufiger Ereignisse. Seltenen Ereignissen (30-jährliche Ereignisse) ordnet die Analyse eine mässige (2060-schwach) bis erhebliche (2060-stark) Zunahme der Frequenz und der Intensität zu. Hier werden die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Gesundheit, Waldwirtschaft und Infrastruktur/Gebäude analysiert.

Tabelle 17. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Steinschlag/Felssturz/Bergsturz.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Steinschlag/Felssturz/Bergsturz 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> Bis anhin keine gesicherten Trends feststellbar 	<ul style="list-style-type: none"> Rückgang Kryosphäre, Ansteigen Temperatur, mehr Niederschlag im Winter, weniger im Sommer, allenfalls mehr Starkniederschläge, mehr Schutt, weniger Frosttage 	<ul style="list-style-type: none"> Zunehmende Frequenz und Intensität der Ereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> Sehr kurze Datenreihen, Prozessverständnis mit Unsicherheiten Unsicherheit gross

3.3.11 Waldbrand

In der Schweiz ereignen sich Waldbrände insbesondere in den Kantonen Tessin, Wallis und Graubünden (Tinner et al., 2005). Ihre Feuer brennen Wälder nieder, beschädigen und zerstören landwirtschaftliche Kulturen, Infrastruktur und Gebäude.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

In den Jahren seit 1980 haben Feuer in Graubünden eine Fläche von über 700 ha Wald beschädigt (AWN, 2014b). Beim verheerendsten Waldbrand wurden 1997 im Misox 390 ha Wald ein Raub der Flammen (entspricht 5 Promille der Waldfläche des Kantons). Löschkosten, Zwangsnutzungen und Wiederherstellungsarbeiten kosteten in der Folge über 9 Mio. Franken (WSL, 2014b). Gemäss der Waldbranddatenbank werden die Brände seit 1992 am häufigsten auf der Alpennordseite registriert (56 % aller Waldbrände), rund ein Drittel in den Südtälern und die übrigen rund 12 % im Engadin. Die Waldbrände traten bis anhin vor allem im Sommer auf (41 % der Ereignisse), gefolgt vom Frühjahr (36 %), wobei die Monate April und August (je 18 %) die ereignisreichsten Monate sind (AWN, 2014b). Alle Höhenstufen sind von Waldbränden betroffen, wobei die Mehrzahl der Brände in montanen und subalpinen Lagen auftreten (43 % aller Ereignisse). Nur ein Viertel aller Waldbrände wird auf natürliche Auslöser zurückgeführt (Blitzschlag) und die dadurch ausgelösten Brände betreffen vor allem den Wald in der subalpinen Stufe. Wichtige klimatische Bedingungen für Waldbrände sind Trockenheit und Gewitter mit Blitzschlag (vgl. Tabelle 18).

Trends und Tendenzen

Die Waldbrände im Kanton Graubünden zeigen keinen Trend hin zu einer veränderten Häufigkeit oder Intensität. Die Klimaszenarien weisen hingegen auf eine erhöhte Disposition hin. Im Sommer nehmen die Trockenphasen zu und die Niederschlagssummen ab, insbesondere auf der Alpensüdseite. Experten gehen davon aus, dass das Waldbrandrisiko zunimmt (PLANAT, 2014c).

Unsicherheiten

Unsicherheiten zur Entwicklung der Waldbrände liegen zum einen in den unklaren Entwicklungen von Gewittern (vgl. Kapitel 2.3.3). Zum anderen rühren Unsicherheiten daher, dass Waldbrände in den meisten Fällen von Menschen ausgelöst werden. Die Analyse rechnet mit mittleren Unsicherheiten (vgl. Tabelle 18).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist davon auszugehen, dass Waldbrände in Zukunft im ganzen Kanton häufiger werden, insbesondere in den Sommermonaten. Diese Annahme wird durch die zunehmende Sommertrockenheit unterstützt. Die Analyse rechnet mit einer geringen (2060-schwach) bis mässigen (2060-stark) Zunahme von Waldbränden. Im vorliegenden Arbeitspapier werden die Risiken und Chancen dieser Entwicklung für die Auswirkungsbereiche Waldwirtschaft und Biodiversität analysiert.

Tabelle 18. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Waldbrand.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Waldbrand 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> • Bis anhin keine gesicherten Trends 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Trockenphasen und weniger Niederschlag im Sommer, mehr Niederschlag im Winter, gleich viele Gewitter 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz und Intensität zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> • Prognose Entwicklung Gewitter, der Mensch als Auslöser • Unsicherheiten mittel

3.3.12 Sturm/Orkan

Ein Sturm verzeichnet Windgeschwindigkeiten von über 75 km/h und ein Orkan über 117 km/h (PLANAT, 2015). Solch starke Winde treten bei uns vor allem im Herbst und im Winter auf. Durchschnittlich alle 10 bis 15 Jahre zieht ein Orkan durch die Schweiz (WSL und BUWAL, 2001). Starke Winde, Stürme und Orkane zerstören Wald und wirken verheerend auf Infrastruktur und Gebäude. Sie fordern auch Menschenleben, insbesondere unter den Einsatzkräften, welche das Sturmholz aufräumen.

Beobachtungen im Kanton Graubünden

Auch im Kanton Graubünden richten heftige Winde hin und wieder erhebliche Schäden an. Die Gebäudeversicherung verzeichnet Schäden im Umfang von 16.5 Mio. Franken über die Jahre 1991 bis 2013 (GVG, 2014a). Ein Drittel der Schäden ereignen sich im Sommer und je etwas weniger als ein Viertel in den übrigen Jahreszeiten (GVG, 2014a). Die Schadenssumme variiert von Jahr zu Jahr beträchtlich. Die höchste Schadenssumme an Gebäuden wurde 2012 erreicht (2.8 Mio. Franken) – sie beträgt das 22-fache der geringsten jährlichen Schadenssumme (122 000 Franken im Jahr 2010; GVG, 2014a).

Trends und Tendenzen

Gemäss CH2011 (2011) gibt es bis anhin keine klare Evidenz für Veränderungen im Sturmregime. Stürme/Orkane hängen in komplexer Weise von der Temperatur ab, aber die Zusammenhänge sind zu wenig geklärt, um Entwicklungen zu prognostizieren. Einzelne Modelle sehen eine abnehmende Frequenz von Winterstürmen und gleichzeitig eine zunehmende Intensität (CH2011, 2011).

Unsicherheiten

Die zukünftige Entwicklung von starken Winden ist ungewiss. Die Analyse rechnet in Anlehnung an CH2011 (2011) mit grossen Unsicherheiten (vgl. Tabelle 19).

Annahmen für die Risiken-Chancen- Bewertung

Es ist davon auszugehen, dass sich das Regime der Stürme/Orkane ändern wird. Die Analyse der Gefahr/des Effektes Sturm/Orkan rechnet mit einer geringen (2060-schwach und 2060-stark) Abnahme schwacher Ereignisse und mit einer geringen (2060-schwach) bis mässigen (2060-stark) Zunahme starker Ereignisse. Das Arbeitspapier analysiert die Risiken und Chancen für die Auswirkungsbereiche Waldwirtschaft sowie Infrastruktur/Gebäude.

Tabelle 19. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Sturm/Orkan.

Beobachtete Trends und Tendenzen	Entwicklung massgeblicher Klimaparameter, Effekte	Annahmen Veränderung Sturm/Orkan 2060	Unsicherheiten
<ul style="list-style-type: none"> Bis anhin keine Trends oder Tendenzen erkennbar. 	<ul style="list-style-type: none"> vgl. Kommentar zu Trends und Tendenzen. 	<ul style="list-style-type: none"> Frequenz abnehmend und Intensität zunehmend 	<ul style="list-style-type: none"> Stark divergierende Prognosemodelle. Unsicherheit gross

4 Risiken und Chancen des Klimawandels

Die Risiken und Chancen des Klimawandels werden im vorliegenden Arbeitspapier für die acht Auswirkungsbereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Infrastruktur/Gebäude, Wasserwirtschaft und Biodiversität analysiert. In den einzelnen Kapiteln wird zunächst der Auswirkungsbereich beschrieben, daran anschliessend die Ergebnisse präsentiert und diskutiert und auf passende Handlungsfelder verwiesen. Schliesslich wird ein Fazit gezogen. Die Analyse basiert auf den Methoden wie sie in Kapitel 2.3 formuliert sind. Details der Analyse werden im Anhang eingehend erläutert.

4.1 Erläuterung der Abbildungen

Die Auswirkungen des Klimawandels sind in den folgenden Abbildungen 5 bis 14 als positive oder negative Veränderung (in Mio. Franken) gegenüber dem heutigen Erwartungswert dargestellt. Im Kopf der Abbildung sind die analysierte Gefahr oder der analysierte Effekt, der heutige Erwartungswert und der verwendete Indikator aufgeführt. Dieser ist im Anhang (Tabelle 20) erläutert. Bei Gefahren und Effekten, welche sich erst in Zukunft einstellen werden (Veränderung Mitteltemperatur, Änderung Niederschlagsregime, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher und Auftauen Permafrost) sind die Erwartungswerte in Klammern aufgeführt.

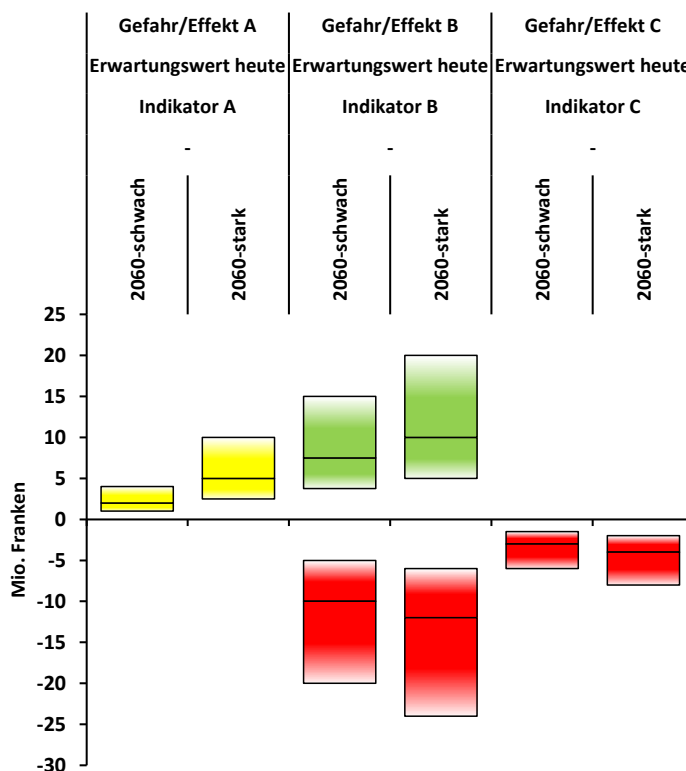


Abbildung 5. Abbildung zur Erläuterung der Ergebnisse. In dieser sowie in den folgenden Abbildungen sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der eingefärbten Säulen) als Veränderungen gegenüber dem heutigen Erwartungswert dargestellt. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün die Chancen. Die Analyse ist für jede Gefahr/jeden Effekt und jeden Auswirkungsbereich im Anhang erläutert.

Gemäss Abbildung 5 verringert sich in diesem fiktiven Auswirkungsbereich das Risiko aus Gefahr/Effekt A um 2 Mio. Franken (Szenario 2060-schwach; unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs sind es 1 bis 4 Mio.) respektive um 5 Mio. Franken (Unsicherheitsbereich 2.5 bis 10 Mio.).

Das Risiko aus Gefahr/ Effekt B nimmt um 10 resp. 12 Mio. Franken zu (mit Unsicherheiten um 5 bis 20, resp. 6 bis 24 Mio. Franken). Ein anderer Aspekt derselben Gefahr/desselben Effektes erhöht Chancen um 8 respektive 10 Mio. Franken (mit Unsicherheiten um 4 bis 16, resp. 5 bis 20 Mio. Franken). Das Risiko aus Gefahr/Effekt C schliesslich nimmt um 3 resp. 4 Mio. Franken zu (Unsicherheitsbereiche um 1.5 bis 6, respektive 2 bis 8 Mio. Franken). Der Unsicherheitsbereich wird entsprechend der Einstufung der Gefahren und Effekte in Kapitel 3.3 angegeben. Gefahren und Effekte mit sowohl positiven wie negativen Veränderungen sind möglich (vgl. die Ergebnisse zur Landwirtschaft oder zur Biodiversität). So führt beispielsweise die Veränderung der Mitteltemperatur einerseits zu gesteigertem Wachstum und höherem Ertrag und andererseits fördert sie die Entwicklungsgeschwindigkeit von Schadorganismen. Im Kapitel Biodiversität sind alle Gefahren und Effekte des Klimawandels sowohl positiv als auch negativ dargestellt (vgl. Kapitel 4.10 für Erläuterungen).

4.2 Hinweise zu möglichen Extremereignissen und zu Handlungsfeldern

Im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse werden jeweils mögliche Extremereignisse oder Ereignisketten beschrieben. Zudem wird auf die jeweils passenden Handlungsfelder aus dem Arbeitspapier 1 Klimaanpassung verwiesen (vgl. ANU, 2015a). Prioritäre Handlungsfelder sind dabei hervorgehoben.

4.3 Gesundheit

4.3.1 Zahlen und Fakten



Das Klima hat einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit. Hitze verstärkt bestehende gesundheitliche Probleme, schwächt die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit oder führt gar zum Tod (Urbinello und Röösl, 2014). Die Gesundheit gefährden auch allergene Pflanzen und Schadorganismen, die sich durch die zunehmende Wärme weiter ausbreiten können. Schnee- und Eis führen immer wieder zu schweren Verkehrsunfällen mit Verletzten und Todesopfern (BFS, 2014e). Klimainduzierte Naturgefahren bedrohen die Gesundheit der Bevölkerung.

Werte und Verletzlichkeit

Die Gesundheit und die Gesundheitsversorgung sind mit hohen Kosten verbunden und gleichzeitig sind sie wirtschaftlich bedeutend. Der Wert der Gesundheit lässt sich kaum beziffern. Das vorliegende Arbeitspapier monetarisiert ein Menschenleben mit 5 Mio. Franken, eine verletzte Person mit 100 000 Franken und Evakuierte mit 10 000 Franken (vgl. EBP/SLF/WSL, 2013a; Tabelle 20).

Die Gesundheitsversorgung lässt sich einfacher beziffern als die Gesundheit. Die Ausgaben im kantonalen Gesundheitswesen beliefen sich im Jahr 2011 auf rund 207 Mio. Franken (10 % der Gesamtausgaben des Kantons), jene der Gemeinden betragen im Jahr 2012 rund 62 Mio. Franken (DJSG, 2013). Im Jahr 2011 waren rund 9500 Personen im kantonalen Gesundheitswesen beschäftigt (8.5 % der Gesamtbeschäftigung; DJSG, 2013), viele von ihnen auch in abgelegenen Regionen. Das Altersheim Lumnezia beispielsweise ist der wichtigste Arbeitgeber in jenem Tal (DJSG, 2013).

Die Verletzlichkeit des Menschen gegenüber klimaabhängigen, gesundheitlichen Risiken hängt von der persönlichen Verfassung und vom Aufenthaltsort ab. Bestehende Krankheiten, Alter und Pflegebedürftigkeit steigern die Verletzlichkeit gegenüber Hitze (Urbinello und Röösl, 2014). Wer auf schneebedeckten Strassen unterwegs ist, in der Mittagshitze an der Sonne weilt oder sich zur Blütezeit in Gebieten mit allergenen Pflanzen aufhält, ist den entsprechenden Risiken stärker ausgesetzt.

Trends und Tendenzen

Die Gefährdung durch gesundheitliche Probleme nimmt mit dem Klimawandel voraussichtlich zu. So hat in den vergangenen Jahrzehnten die Anzahl Hitzetage zugenommen (vgl. Kapitel 3.2.1). Die steigende Mitteltemperatur führt dazu, dass krankheitsübertragende Organismen eher überleben und sich weiter ausbreiten können. Tatsächlich werden seit einigen Jahren Vektoren verschiedener Tropenkrankheiten im Kanton neu festgestellt. Der gemeine Holzbock, Überträger der Zeckenzephalitis, scheint sich weiter auszubreiten. Auch Pollenallergien scheinen schweizweit zuzunehmen.

Auch die Kosten wandeln sich. Von 1995 bis 2011 stiegen die Kosten für das Gesundheitswesen in der Schweiz von 9.3 auf 11 % des BIP (DJSG, 2013). Die steigende Lebenserwartung und der Fortschritt der Medizin sorgen dafür, dass es sich beim Gesundheitssektor um einen Wachstumsmarkt handelt. Es ist somit davon auszugehen, dass das Gesundheitswesen noch bedeutender wird, sowohl für die Wertschöpfung als auch für die Beschäftigung im Kanton (DJSG, 2013). Gleichzeitig werden bestehende gesundheitliche Risiken durch Fortschritte in der Behandlung gesenkt.

Herausforderungen durch den Klimawandel

Der Klimawandel bringt für den Auswirkungsbereich Gesundheit insbesondere die folgenden Gefahren und Effekte mit sich: Veränderung Mitteltemperatur, Hitzewellen, Reduktion Schneedecke (ohne Abschmelzen der Gletscher), Lawinen, Hochwasser, Steinschlag/Felssturz/Bergsturz (vgl. Abbildung 6). Auf die Veränderung der entsprechenden Risiken und Chancen geht das folgende Kapitel näher ein. Als Gesundheit gilt dabei die physische Gesundheit der Bevölkerung.

4.3.2 Ergebnisse und Diskussion

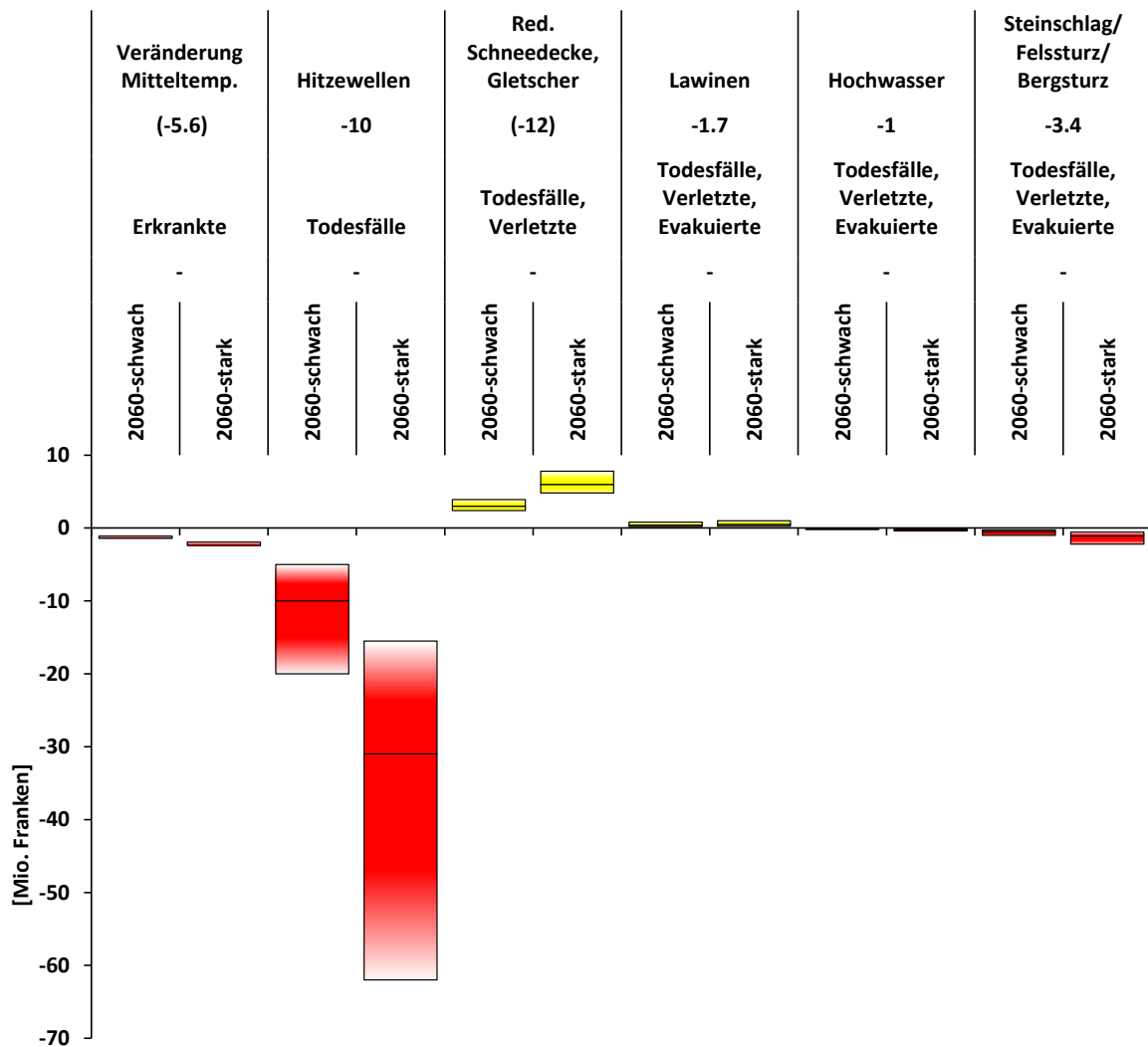


Abbildung 6. Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 25 bis 30.

Veränderung der Mitteltemperatur: Allergene Pflanzen

Es ist anzunehmen, dass Pflanzen, deren Pollen allergen sind, mit steigenden Temperaturen in grössere Höhen vordringen und dort allergischen Personen mehr Probleme bereiten als bisher (vgl. Abbildung 6). So ist neu die Esche – die Pollen dieser Art führen bei allergischen Personen zu Heuschnupfen – im Hochtal von Davos (rund 1560 m ü. M.) mit einigen Individuen vertreten. Sie ist früher hier nicht vorgekommen (vgl. Schibler et al., 1937). In der Schweiz sind etwa 15 bis 20 % der Bevölkerung von einer Pollenallergie betroffen. Von den rund 3500 Pflanzen in der Schweiz gelten 20 für Pollenallergiker von grosser Bedeutung (Allergiezentrum Schweiz, 2015).

Inwieweit der Klimawandel die gesundheitlichen Risiken durch allergene Pflanzen steuert ist nicht ganz klar. Zum einen werden zahlreiche allergene Pflanzenarten in weit grösserem Ausmass durch den Menschen verbreitet als durch den Klimawandel. Die Pflanzen werden zur Zierde in Gärten, Parks und Grünflächen angepflanzt oder in der Landwirtschaft eingesetzt. So sind die allergenen amerikanischen Platanen beliebte Alleebäume und das Knäuelgras dominiert Fettwiesen. Auch die Ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*) wurde aus Nordamerika eingeführt. Ihre Samen werden über

Vogelfutter weiter verschleppt (Lanfranchi, 2013). Ob sich nebst der Zahl allergener Pflanzen auch die Dauer der Pollenbelastung ändert ist unklar. Wärmere Temperaturen könnten die Blühphase von Pflanzen beschleunigen (Luder und Moritz, 2005) und dadurch die Heuschnupfensaison verkürzen.

Handlungsfelder:

- **B3 Ausbreitung invasiver, gebietsfremder Arten**
- G4M Pollenallergien

Veränderung der Mitteltemperatur: Vektorübertragene Krankheiten

Steigende Temperaturen vergrössern die Wahrscheinlichkeit, dass wärmeliebende Organismen die kalte Jahreszeit überleben. Unter ihnen sind auch Insekten, welche Krankheiten übertragen können. Eines dieser krankheitsübertragenden Insekten ist der gemeine Holzbock. Diese Zeckenart kann die Lyme Borreliose und die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen. Der Holzbock kommt heute vorwiegend in den Tallagen des Kantons vor. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass er sich in höhere Lagen ausbreiten wird. Dadurch steigen die gesundheitlichen Risiken (vgl. Abbildung 6). Ähnlich könnten sich auch die invasiven exotischen Mückenarten der Gattung *Aedes* (*Aedes albopictus*, die asiatische Tigermücke; und *Aedes japonicus*, die asiatische Buschmücke) weiter ausbreiten. Diese Mücken übertragen in ihrer tropischen Heimat das Chikungunya- bzw. Dengue-Fieber (BAG, 2014b). Dengue ist die wichtigste virale Krankheit, welche durch Insekten übertragen wird (Swiss TPH, 2013). Ihre Bedeutung nimmt in Europa zu. Im Jahr 2007 erkrankten in Ravenna (I) über 200 Personen an Dengue-Fieber (Swiss TPH, 2013). Auch die Mücken der Gattung *Anopheles*, welche Malaria übertragen (BAG, 2014c), könnten vermehrt bei uns auftreten.

Die Ausbreitung der Insekten entspricht allerdings nicht unbedingt der Ausbreitung der Krankheiten. Nur rund ein Drittel unserer Zecken tragen den Erreger der Lyme Borreliose in sich, während die Erreger der FSME 500mal seltener sind (Satz, 2014). Etwa 20 000 Arztbesuche werden jährlich schweizweit wegen Zeckenbissen gezählt. Dabei werden 100 bis 200 Fälle von FSME, und 7000 bis 10 000 Fälle von Borreliose entdeckt (BAG, 2014a). Die Bündner Zecken sind vergleichsweise selten mit diesen Krankheitserregern infiziert (vgl. Satz, 2014). Zecken-Risikogebiete in Graubünden sind heute die Regionen Malans/Fläsch/Luziensteig, Grusch/Seewis und die Region Chur (Satz, 2014).

Die exotischen Mücken scheinen sich allmählich im Kanton auszubreiten. Sie werden in erster Linie über den globalen Handel und Verkehr verteilt. Die asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) etwa wurde vorwiegend durch den weltumspannenden Handel mit Altreifen und Glücksbambus verschleppt (Swiss TPH, 2013). Die Mücken sind bis anhin nicht mit Krankheitserregern infiziert (BAG, 2014b). Eine Ansteckung mit Malaria in der Schweiz liegt sehr lange zurück (BAG, 2014c).

Das Risiko, dass potenziell krankheitsübertragende Insekten die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen steigt an, auch oder gerade bei den einheimischen Zecken. Extremereignisse wie der Ausbruch von Chikungunyafieber in Ravenna können auch hier passieren. Dieser unerwartete Ausbruch der Tropenkrankheit hat Fragen nach dem invasiven Charakter und der Anpassungsfähigkeit der Mücken im kühlen Klima aufgeworfen (Rogers, 2011).

Handlungsfelder:

- **G1M Über Vektoren übertragene Infektionskrankheiten**
- **G1T Über Vektoren übertragene Infektionskrankheiten**
- **L5 Schadorganismen**
- **B2 Arten und Lebensräume**
- **B3 Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten**

Hitzewelle

Hitze beeinträchtigt die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen. Hitzestress ist einer der Hauptgründe für natürliche Todesfälle (Sherwood und Huber, 2010), wobei insbesondere ältere Personen, Kleinkinder, die städtische Bevölkerung und geschwächte Personen gefährdet sind (Thommen Dombois und Braun-Fahrländer, 2004). Anhaltende Hitzewellen haben in der Vergangenheit in der Schweiz zu Hospitalisierungen und auch zu Todesfällen geführt. So wurden im Sommer 2003

schweizweit rund 7 % mehr Todesfälle registriert als im Durchschnitt (Grize et al., 2005). Todesfälle werden vor allem mit Tropennächten in Verbindung gebracht. Die Hitze während des Tages verringert in erster Linie die Lebensqualität und die Arbeitsleistung Betroffener (Sherwood und Huber, 2010).

Hitze wird in Zukunft voraussichtlich die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen in Graubünden noch stärker beeinträchtigen als bisher (vgl. Abbildung 6). Die Bevölkerung ist dem gesundheitlichen Risiko sehr unterschiedlich ausgesetzt. In den Tallagen und den urbanen und suburbanen Räumen werden Hitzetage erwartungsgemäss häufiger vorkommen, so im Churer Rheintal und ganz besonders im unteren Misox. Hitzetage und Tropennächte werden vermehrt auch in der montanen und vereinzelt in der subalpinen Stufe registriert werden (vgl. Tabelle 22). Die demografische Entwicklung steigert grundsätzlich die Verletzlichkeit der Bevölkerung gegenüber Hitze.

Dass Hitzewellen in Zukunft häufiger auftreten ist vergleichsweise sicher. Inwieweit die gesundheitlichen Risiken dadurch ansteigen, wird in Fachkreisen diskutiert. Es wird argumentiert, dass sich der Mensch an die Hitze gewöhnen kann (Thommen Dombois und Braun-Fahrländer, 2004). So konnte im Jahr 2003 für die Alpensüdseite kein signifikanter Zusammenhang zwischen Hitze und zusätzlichen Todesfällen festgestellt werden (Grize et al., 2005), im Gegensatz zur Alpennordseite und trotz schweizweitem Hitzerekord in Grono. Hitzebedingte Todesfälle könnten auch um wenige Tage oder Wochen vorgezogene Todesfälle sein. So wurde festgestellt, dass nach einer Hitzewelle die Sterbefälle unter den Erwartungswert absinken, was als Sensemann-Effekt bezeichnet wird (Thommen Dombois und Braun-Fahrländer, 2004). Nach dem Hitzesommer 2003 war dieser Effekt in der Schweiz jedoch nicht feststellbar (Grize et al., 2005).

Handlungsfelder:

- **G2M Hitze, Ozon**
- G2T Hitze
- L4 Hitzestress
- E1 Energiebedarf Klimatisierung/Kühlung Gebäude
- T101 Sommerfrische
- **R1UR Lebensqualität**
- R6UR Soziale Dimension

Reduktion der Schneedecke

Im Kanton Graubünden wurden im Jahr 2013 bei Verkehrsunfällen über 600 Personen verletzt, zwölf von ihnen tödlich (Kantonspolizei Graubünden, 2014). Rund ein Fünftel der Unfälle geschehen auf schnee- und eisbedeckten Strassen (Kantonspolizei Graubünden, 2013; Schweizweit sind es 5 %, ASTRA, 2014). Es ist anzunehmen, dass die Reduktion der Schneedecke und die anhaltend steigenden Temperaturen dazu führen werden, dass winterliche Strassenverhältnisse seltener werden und die gesundheitlichen Risiken entsprechend zurückgehen (vgl. Abbildung 6). Dabei dürften Strassen im Tal und in montanen Lagen in Zukunft deutlich seltener schnee- und eisbedeckt sein. In subalpinen und alpinen Lagen werden die Fahrbahnen winters hingegen mehrheitlich schneebedeckt bleiben.

Die klimatischen Bedingungen beeinflussen nicht allein die gesundheitlichen Risiken auf den Verkehrswegen. Der Winterstrassendienst sorgt dafür, dass die Verkehrswege gut befahrbar sind. Sein Einsatz hat sich im Verlauf der Zeit verändert. Heute wird auf den Kantonsstrassen doppelt so viel Auftaumittel eingesetzt wie vor 20 Jahren, vorwiegend wegen gesteigerter Ansprüche an die Befahrbarkeit der Strassen (TBA, 2014b).

Handlungsfelder:

- W10 Auswaschung von Stoffen
- N10 Winterstürme

Lawinen

Lawinen haben in Graubünden seit 1999 in Siedlungsnähe sechs Todesopfer gefordert. Zudem wurden seither 13 Personen verletzt und 25 mussten aus gefährdeten Gebieten evakuiert werden (AWN, 2014a). Die Veränderung der Mitteltemperatur und die Änderung des Niederschlagsregimes werden

das gesundheitliche Risiko durch Lawinen erwartungsgemäss ändern. Zwar dürften sich die Frequenz und die Intensität seltener Lawinen erhöhen. Häufige Lawinen werden künftig aber eher seltener und kleiner. Die gesundheitlichen Risiken als Folge von Lawinen dürften in der Summe zurückgehen (vgl. Abbildung 6).

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- N6 Lawinen
- N10 Winterstürme

Hochwasser

In Graubünden haben Hochwasser und Murgänge in den vergangenen 24 Jahren drei Todesopfer gefordert und zahlreiche Personen mussten evakuiert werden (vgl. Kapitel 3.3.9). Es ist anzunehmen, dass durch den Klimawandel Hochwasser häufiger werden und entsprechend die gesundheitlichen Risiken zunehmen werden (vgl. Abbildung 6).

Handlungsfelder:

- **N1 Hochwasser**
- R3UR Naturgefahren
- R3LR Naturgefahren

Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Seit 1999 wurden im Kanton Graubünden durch Steinschlag, Fels- oder Bergsturz elf Personen getötet und ebenso viele verletzt. Insgesamt 41 Personen mussten aus gefährlichen Gebieten evakuiert werden (AWN, 2014a). Steinschlag, Fels- oder Bergsturzereignisse werden in Zukunft eher häufiger werden. Dadurch steigt das gesundheitliche Risiko (vgl. Abbildung 6). Die Gefährdung durch Steinschlag, Fels- und Bergsturz ist regional sehr unterschiedlich. Wohl ist sie im Ursprungsbereich der Prozesse am grössten, also in alpinen Lagen.

Wie genau die veränderten klimatischen Bedingungen letztlich Steinschlag-, Felssturz- oder Bergsturzereignisse verändern scheint nicht ganz klar. So ist etwa die Bedeutung des Permafrosts für die Auslösung von Sturzprozessen ein erst junges Forschungsfeld (Noetzli et al., 2003). Die Prognose für die Veränderung von Starkregen, ein wichtiger Faktor für das Auslösen von Sturzprozessen, ist sehr unsicher. Schliesslich ist auch die Datenlage noch schwach und gibt erst wenige Erkenntnisse preis.

Handlungsfelder:

- N4 Sturzprozesse
- N5 Schutzwald
- L2 Starkniederschläge
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge
- R3LR Naturgefahren

Vorstellbare Extremereignisse

Die klimabedingte Zunahme von Extremereignissen, welche für den Auswirkungsbereich Gesundheit im Kanton Graubünden vorstellbar sind, wird wohl am ehesten durch die Veränderung der Mitteltemperatur ausgelöst. Insekten, beispielsweise jene welche das Denguefieber überragen können, entwickeln sich rascher und ihre Überlebenschance während der kalten Jahreszeit steigt. Dadurch nimmt letztlich die Wahrscheinlichkeit für eine Epidemie zu.

4.3.3 Fazit

Es ist davon auszugehen, dass die analysierten gesundheitlichen Risiken in einem wärmeren Klima mehrheitlich zunehmen. Abgesehen von Extremereignissen werden die grössten Risiken aus den zunehmend häufiger werdenden Hitzewellen erwartet, von den Tallagen bis in montane Lagen. Mehr gesundheitliche Risiken sind auch von krankheitsübertragenden Insekten und allergenen Pflanzen zu erwarten, welche sich im wärmeren Klima vermehrt in höhere Lagen ausbreiten können. Auch Hochwasser und Steinschlagereignisse und ihre gesundheitlichen Risiken nehmen erwartungsgemäss

eher zu. Demgegenüber werden die gesundheitlichen Risiken durch Lawinen und durch Unfälle auf schnee- und eisbedeckten Fahrbahnen wohl eher zurückgehen. Eine Epidemie einer Tropenkrankheit ist das extremste vorstellbare gesundheitliche Risiko des Klimawandels im Kanton Graubünden.

4.4 Landwirtschaft

4.4.1 Zahlen und Fakten



Die Landwirtschaft ist weitgehend durch das Klima bestimmt. Produktion und Ertrag am Standort richten sich in der Regel nach den vorherrschenden Temperaturen und nach dem erwarteten Niederschlag. Auch das Naturgefahrenregime bestimmt die Art der Bewirtschaftung. Volkswirtschaftlich betrachtet ist die Landwirtschaft in Graubünden sehr wichtig.

Werte und Verletzlichkeit

Der Wert der Landwirtschaft ergibt sich aus der Produktion, dem Ertrag und den Erwerbsmöglichkeiten auch in abgelegenen Regionen. Hinzu kommen zahlreiche Ökosystemleistungen, welche durch die Bewirtschaftung unterstützt werden. In Graubünden ist die Landwirtschaft sehr wichtig. Insgesamt wird ein Drittel der Kantonsfläche landwirtschaftlich genutzt. Rund 6600 Personen sind in 2500 landwirtschaftlichen Betrieben tätig (6.5 % aller Arbeitsplätze im Kanton; Regierung des Kantons Graubünden, 2014; BFS, 2014d). Über die Hälfte (54 %) der Betriebe wird nach biologischen Richtlinien geführt, was weit über dem schweizerischen Durchschnitt von 11 % liegt (BFS, 2013b). Die Landwirtschaft bearbeitet 54 000 ha Land, in erster Linie Grünland (rund 94 % der bewirtschafteten Fläche), aber auch Rebflächen (450 ha, v.a. mit der Traubensorte Blauburgunder), Obstkulturen (38 ha, Äpfel und Zwetschgen) und Ackerflächen (2000 ha, etwas weniger als die Hälfte davon Getreide; BFS, 2014d). Rund 2700 ha (5 %) werden regelmässig bewässert (BFS, 2014g). In Graubünden werden rund 74 000 Stück Rindvieh gehalten (ca. 4.7 % des schweizerischen Bestandes, Jahr 2011).

Trotz ihrer grossen Bedeutung als Produzentin, Arbeitgeberin und Landschaftsgestalterin ist die Wertschöpfung der Landwirtschaft vergleichsweise gering. Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei erarbeiteten im Jahr 2011 rund 68 Mio. Franken oder 0.6 % der Bruttowertschöpfung im Kanton (GKB und AWT, 2013). Schweizweit erwirtschaftete die Landwirtschaft 2012 im Mittel einen 10-mal höheren Produktionswert pro Hektare als die Forstwirtschaft. Nebst der Bruttowertschöpfung ist auch der Produktionswert der hiesigen Landwirtschaft eher gering. Er beträgt rund 4500 Franken pro ha Land (CH: 9700; BFS, 2013a). Der Betrag widerspiegelt die Art der Bewirtschaftung (hoher Anteil Grünland), respektive die klimatischen und topografischen Rahmenbedingungen. Bei dieser Wertung gilt es allerdings zu beachten, dass die Landwirtschaft zahlreiche Dienste leistet, deren Wert nur schwer zu beziffern ist. Dazu zählt etwa der Erhalt der jahrhundertealten Kulturlandschaft.

Die Verletzlichkeit der Landwirtschaft gegenüber klimainduzierten Gefahren und Effekten hängt von der Art der Produktion am Standort ab. Der Ernteertrag der Wiesen und vieler Kulturpflanzen ist auf ausreichend Wärme und Niederschlag angewiesen. Schadorganismen – ihre Dynamik ist ebenfalls von diesen Faktoren abhängig – führen immer wieder zu Ertragseinbussen.

Trends und Tendenzen

Die klimatischen Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Produktion im Kanton haben sich in den vergangenen Jahrzehnten theoretisch verbessert. Die Mitteltemperatur ist angestiegen, die Frosttage sind zurückgegangen und die Vegetationszeit wird länger (vgl. Kapitel 3.2.1 und Tabelle 22). Beispiele, welche die Wirkung dieser veränderten klimatischen Faktoren auf die landwirtschaftliche Produktion aufzeigen, konnten nur wenige gefunden werden.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der potenzielle Ernteertrag der Wiesen und vieler Kulturpflanzen zunehmen werden. Gleichzeitig wird das Wasserangebot im Sommer ab und Schadorganismen eher zunehmen (OCC, 2007). Regional werden grosse Unterschiede in der Verletzlichkeit erwartet. Regionen, die unter heutigen Bedingungen für eine landwirtschaftliche Nutzung eher zu kühl oder zu feucht sind, können von einer allmählichen Erwärmung und längeren Vegetationsperio-

den profitieren. In bereits heute wärmeren und trockeneren Regionen wirkt sich der Klimawandel hingegen eher negativ aus (BLW, 2011).

Wirtschaftliche gesehen ist die Landwirtschaft in einer Phase des Umbruchs. Der schweizweite Trend rückläufiger Betriebe zeichnet sich auch in Graubünden ab. Vor zehn Jahren wurden hier noch über 3000 Betriebe gezählt, in der Zwischenzeit hat sich ihre Zahl um ein Sechstel reduziert. Das Trendszenario der Wirtschaftsbranchen in der Schweiz für den Zeitraum 2001 bis 2035 zeigt, dass der Bruttoproduktionswert der inländischen Produktion in der Land- und Forstwirtschaft um minus 0.5 % pro Jahr zurückgeht (Ecoplan, 2005).

Herausforderungen durch den Klimawandel

Besondere Herausforderungen positiver wie negativer Art für die Landwirtschaft sind die Gefahren und Effekte Veränderung Mitteltemperatur, Frost, Trockenheit und Hochwasser. Auf die Veränderung entsprechender Risiken und Chancen geht das folgende Kapitel näher ein (vgl. Abbildung 7). Als Indikator gilt die landwirtschaftliche Produktion (Ertrag, Schaden). Die Infrastruktur der Landwirtschaft wird dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude zugeordnet.

4.4.2 Ergebnisse und Diskussion

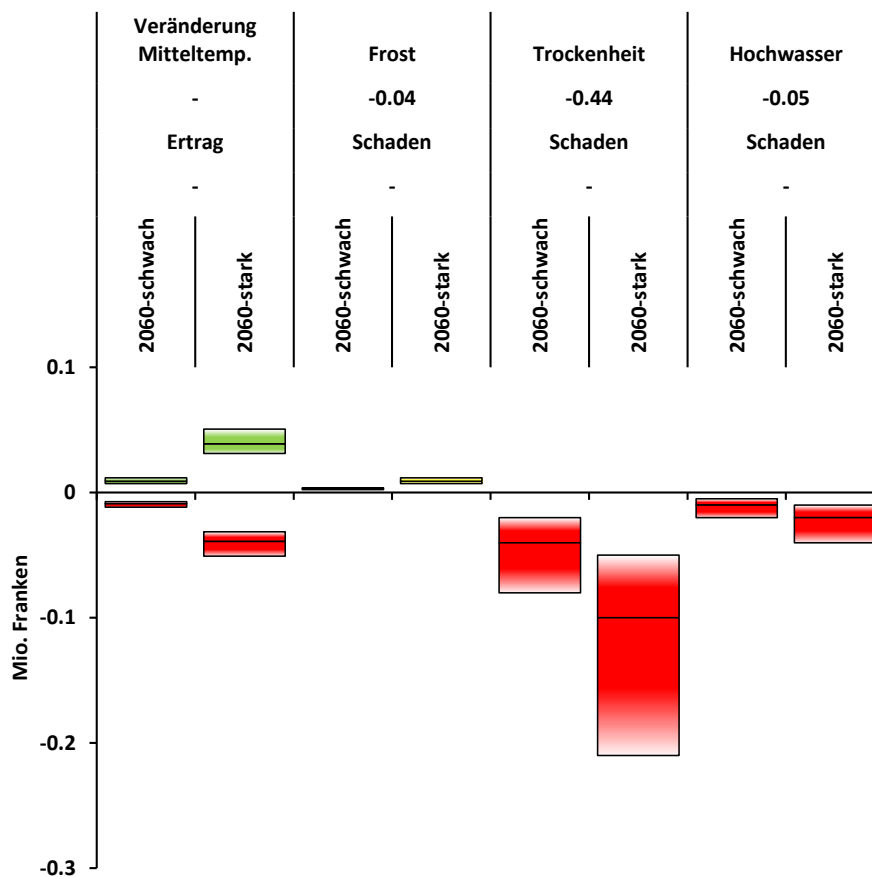


Abbildung 7. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Landwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 31 bis 34.

Veränderung der Mitteltemperatur: Wachstum Kulturpflanzen

Höhere Mitteltemperaturen beschleunigen das Wachstum der Kulturpflanzen und verlängern die Vegetationsperiode. Die Vegetationsperiode dauert heute in den Tallagen des Kantons rund 250 bis 290 Tage, während sie in subalpinen Lagen über drei Monate kürzer ist (vgl. Tabelle 22). In Zukunft wird die Vegetationsperiode erheblich länger (vgl. Zubler et al., 2014). In Samedan etwa wird sie um einen halben Monat (2060-schwach), respektive um über einen Monat (2060-stark) länger dauern. Dadurch wird das Wachstum der Pflanzen und letztlich der Ertrag gesteigert. Wie der Ertrag von Kulturpflanzen in einem wärmeren Klima ändert, zeigen die Statistiken des Plantahofs. Die Schlüsselstadien des Blauburgunders der Reblage Markstaller von Malans werden heute 10 bis 14 Tage früher erreicht als zu Beginn der Messreihe Ende der siebziger Jahre (Jüstrich, 2013). Der Blauburgunder zeigt heute zudem höhere Öchslegrade als zu Beginn der neunziger Jahre (Jüstrich, 2014). Ein Verschieben der Schlüsselstadien wurde auch bei der Apfelsorte Golden Delicious beobachtet (Jüstrich, 2013). Es ist zu erwarten, dass diese Entwicklung anhält (vgl. Abbildung 7).

Die beschleunigte Entwicklung und höhere Öchslegrade sind jedoch nicht allein auf den Klimawandel zurückzuführen. So hat etwa die Einführung der Mengenbegrenzung im Jahr 1993 die Arbeiten im Rebberg verändert (kürzerer Anschnitt der Ruten, strenges Erlesen), mit Folgen auch für die Entwicklung der Reben (Jüstrich, 2013). Zudem gilt es zu beachten, dass die jährliche Variabilität des Ertrags generell hoch ist (z. B. BFS, 2009).

Veränderung der Mitteltemperatur: Schadorganismen

Höhere Temperaturen können nebst rascherem Wachstum aber auch Risiken bergen. Mildere Winter begünstigen das Überleben und die Ausbreitung von Schadorganismen (Schadinsekten, Krankheitsüberträger etc.) bei Kulturpflanzen und bei Nutztieren (BAFU, 2013). Auch wärmeliebende Pflanzenarten mit geringem Nährwert wie beispielsweise Gräser subtropischen Ursprungs der Gattung Borstenhirse (*Setaria*) können sich weiter ausbreiten (OcCC, 2007). Allerdings profitieren auch Nützlinge vom wärmeren Klima. So wurde festgestellt, dass höhere Temperaturen die Fressfeinde und ihre regulierenden Effekte begünstigen. Ein Beispiel dafür ist der Marienkäfer (*Coccinella septempunctata*), welcher Blattläuse etwa am Winterweizen dezimiert (Freier und Triltsch, 1996 in Wittchen et al. 2008).

Die Bedeutung des Klimas für die Ausbreitung von Nutz- und Schädlingen ist nicht immer klar. Dies gilt zum Beispiel für die Kirschessigfliege (*Drosophila suzuki*), welche im Jahr 2014 an Beeren und Früchten auch in Graubünden mehr Schaden angerichtet hat, als in vergangenen Jahren.

Handlungsfelder:

- L1 Standorteignung
- **L5 Schadorganismen**
- **B2 Arten und Lebensräume**
- **B3 Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten**
- **G1T Über Vektoren übertragene Infektionskrankheiten**
- R5LR Land/Waldwirtschaft

Frost

Frost während der Vegetationszeit kann erhebliche Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen anrichten. Beeren-, Obst- und Weinbaukulturen zeigen immer wieder Ernteauffälle, weil der Frost junge Blüten oder Früchte beschädigt. Frostereignisse werden in Zukunft seltener vorkommen (CH2011, 2011). Da gleichzeitig die Vegetationsperiode länger wird, dürfte die Anzahl Frostereignisse während der Vegetationsperiode ähnlich hoch bleiben, zumindest in höheren Lagen. Dennoch geht man davon aus, dass bei unveränderter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung das Risiko von Frost für die Landwirtschaft zurückgehen wird (vgl. Abbildung 7).

Handlungsfelder:

- L1 Standorteignung

Trockenheit

Trockenheit im landwirtschaftlichen Sinn tritt vor allem im Sommer auf. Das verfügbare Bodenwasser ist dann derart gering, dass das Wachstum der Kulturen eingeschränkt ist (BLW, 2011). Aufgrund der klimatischen Entwicklungen (weniger Niederschlag und längere Trockenphasen im Sommer) ist zu erwarten, dass bei unveränderter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung das Risiko von Trockenheit bis 2060 zunehmen wird (vgl. Abbildung 7). Davon ist die Produktion insbesondere in niederschlagsarmen und warmen Gebieten betroffen, vorwiegend vom Tal bis in montane Lagen. Der Sommer 2003 hat die Folgen von Trockenheit und Wärme für die Landwirtschaft aufgezeigt. In Graubünden mussten im Herbst 2003 einzelne Alpen wegen Mangel an Tränkwasser vorzeitig entstossen werden (BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004). Die Schäden jenes trockenen Sommers für die Landwirtschaft wurden damals schweizweit mit 500 Mio. Franken beziffert (BAFU, 2012c).

Bis anhin wird bei Trockenheit in der Landwirtschaft oftmals bewässert. In Graubünden werden heute 2700 ha Land regelmässig bewässert. Davon sind 80 % Kunstwiesen und Dauergrünland, 7 % Mais sowie 6 % Obst und Beerenanlagen. Die Bewässerung erfolgt in Graubünden überwiegend durch Sprinkler (BFS, 2014g). Die Hälfte der bewässernden Betriebe entnimmt das Wasser aus Bächen, Flüssen und Seen, knapp ein Drittel entnimmt es aus dem Trinkwasserversorgungsnetz (BFS, 2014g).

Im Zuge des Klimawandels könnte die bewässerungsbedürftige Landwirtschaftsfläche schweizweit auf das Vierfache ansteigen (LID, 2014). Vor allem Obst- und Gemüsebau sind auf Wasser angewiesen. In Graubünden dürften in Zukunft verschiedene Regionen neu bewässerungsbedürftig sein, falls die Pflanzenkultur nicht geändert wird (Goepfert, 2007). Nicht alle Pflanzenkulturen gedeihen in trockenen Jahren schlechter. So lag der Ertrag der Zuckerrüben im Jahr 2003 rund 6 % über dem Durchschnitt (BFS, 2009).

Handlungsfelder:

- W1 Trinkwasser
- **W4 Bewässerung**
- **W5 Restwasser**
- **W101 Wasserkraft**
- L1 Standorteignung
- **L3 Trockenheit**
- L4 Hitzestress
- E2 Elektrizitätserzeugung Wasser-KW
- R5LR Land- /Forstwirtschaft

Hochwasser

Hochwasser, und damit einhergehend die Übersarung von landwirtschaftlich genutztem Boden mit Geschiebe, nehmen wahrscheinlich zu. Entsprechend steigt das Risiko für Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen (vgl. Abbildung 7). Bereits heute richten Hochwasser Schäden an. In den vergangenen 15 Jahren waren rund 190 ha Landwirtschaftsland durch Hochwasser und Murgänge in Mitleidenenschaft gezogen worden (AWN, 2014a). Aus Hochwasser- und Murgangereignissen können sich auch Folgeschäden ergeben. So könnten fruchtbare Böden erodieren, besonders Ackerböden und Rebberge (LID, 2014). Zudem können Giftstoffe ausgewaschen werden und in die Gewässer gelangen. So wurden beispielsweise im Frühling 2010 in der Thur erhebliche Mengen eines Herbizids festgestellt, welches durch ein Hochwasser vermutlich von frisch gespritzten Feldern abgeschwemmt wurde (Hollender und Huntscha, 2014). Von solchen Risiken sind im Kanton Graubünden vorwiegend die Tallagen betroffen.

Handlungsfelder:

- W10 Auswaschung von Stoffen
- **N1 Hochwasser**
- N3 Wildbachprozesse
- N7 Spontane Rutschungen
- L1 Standorteignung
- L2 Starkniederschläge
- RLR3 Naturgefahren
- RLR5 Land/Waldwirtschaft

Extremereignisse

Die klimabedingte Zunahme von Extremereignissen, welche für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft in Graubünden vorstellbar sind, wird wohl am ehesten durch die Veränderung der Mitteltemperatur ausgelöst. Schadorganismen könnten grossflächig Ernteauffälle provozieren und krankheitsübertragende Insekten könnten Epidemien auslösen. Grössere Auswirkungen auf die Bündner Landwirtschaft haben möglicherweise klimabedingte Ernteauffälle im Ausland. Knapp ein Drittel der Importe von Landwirtschaftsgütern (insbesondere Futtermittel) in die Schweiz stammen aus erwartungsgemäss vom Klimawandel stark betroffenen Gebieten wie Südeuropa oder Südamerika (BLW, 2011).

4.4.3 Fazit

Der Klimawandel bedeutet für die Landwirtschaft Chance und Risiko zugleich. Die grössten Risiken werden aus den zunehmend häufigen und längeren Trockenphasen erwartet und davon, dass sich Schadorganismen durch die wärmeren Temperaturen weiter ausbreiten können. Ebenfalls zunehmen dürften die Risiken aus Naturgefahren wie Hochwasser und Murgang, allerdings in vergleichsweise geringerem Umfang. Die Anzahl Frosttage geht zurück. Da gleichzeitig auch die Vegetationszeit früher einsetzen wird, bleibt das Frostrisiko in reduziertem Umfang erhalten, wird aber vermutlich kleiner. Chancen ergeben sich aus einer verlängerten Vegetationsperiode, welche den Ertrag steigern dürfte. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die Standorteignung resp. die mögliche landwirtschaftliche Nutzung in einem Gebiet neu zu prüfen. Vorstellbare Extremereignisse sind grossflächige Ernteauffälle durch Schadorganismen oder Ernteauffälle im Ausland mit Auswirkungen auf die Preisentwicklung beispielsweise für Futtermittel.

4.5 **Waldwirtschaft**

4.5.1 **Zahlen und Fakten**



Die Waldwirtschaft ist erheblich durch die Standortsbedingungen geprägt. Produktion und Ertrag hängen nebst der Struktur des Waldes weitgehend von den vorherrschenden Temperaturen und der Wasserverfügbarkeit ab. Das Naturgefahrenregime bestimmt wesentlich die Art der Bewirtschaftung. Ändern sich die Standortsbedingungen, so ändern auch die Möglichkeiten, den Wald zu bewirtschaften. Die Waldwirtschaft in Graubünden ist volkswirtschaftlich bedeutend.

Werte und Verletzlichkeit

Der Wald prägt zusammen mit der Landwirtschaft das Landschaftsbild des Kantons vom Tal bis in alpine Lagen. Er ist für verschiedene Zwecke nützlich und wertvoll. Die Waldfläche beträgt 200 000 ha und der Holzvorrat erreicht knapp 300 m³/ha (AWN, 2014c). In den vergangenen acht Jahren erreichte der Holzschlag ein Volumen zwischen 340 000 m³ und 430 000 m³ pro Jahr (AWN, 2014c). Der Bündner Wald besteht zu 83 % aus Nadelholz, wobei Fichte (65 % Anteil am Holzvorrat), Lärche (14 %) und Berg- und Waldföhre (5 %) am häufigsten vorkommen. Die häufigsten Laubbäume sind Buche (3 %), Esche und Ahorn (je 1 %). In den tieferen Lagen der Südtäler sind zudem Edelkastanie und Eiche vertreten (AWN, 2014c). Über zwei Drittel (68 %) der kantonalen Waldfläche gelten als Schutzwald. Der Wald gehört vorwiegend der öffentlichen Hand. Rund 85 % ist im Besitz von Gemeinden (AWN, 2014c). Bund und Kanton unterstützen die Gemeinden bei der Realisierung verschiedener Forstprojekte (Erschliessungsanlagen wie Waldstrassen, Schutzbauten gegen Naturereignisse etc.) mit massgeblichen Beiträgen (AWN, 2014c).

Die Waldwirtschaft bietet rund 670 Arbeitsplätze (private und öffentliche Forstbetriebe), die Holzindustrie deren 650 (Kanton Graubünden, 2014c). Der einheimische Rohstoff Holz ist ein Exportgut. Von den rund 300 000 m³ Stammholz (ohne Industrie- und Energieholz), welche jährlich anfallen, werden rund drei Viertel nach Italien und Österreich exportiert (AWN, 2014c).

Die Bruttowertschöpfung der Waldwirtschaft erreichte zusammen mit der Landwirtschaft und der Fischerei im 2013 rund 68 Mio. Franken (Schweizweit: 364 Mio. Franken (BFS, 2014b)). Der Wald leistet zahlreiche weitere Dienstleistungen, deren Wert nur schwer zu beziffern ist. Dazu zählen etwa der Schutz vor Naturgefahren oder die Möglichkeit, sich bei Sport und Freizeit im Wald zu erholen. Der Wert dieser Erholungsleistung des Waldes wird schweizweit auf 3 Mia. Franken geschätzt (von Grüningen et al., 2014). Allein diese Dienstleistung des Waldes entspricht dem achtfachen seiner herkömmlich bezifferten Bruttowertschöpfung.

Die Verletzlichkeit der Waldwirtschaft gegenüber klimainduzierten Gefahren und Effekten hängt wesentlich von der Lage und der Struktur des Waldes ab. Einzelne Baumarten werden vom Klimawandel profitieren können, während andere eher Einbussen erleiden werden.

Trends und Tendenzen

Die klimatischen Voraussetzungen für die waldwirtschaftliche Produktion im Kanton haben sich in den vergangenen Jahrzehnten verändert. Die Mitteltemperatur ist angestiegen, die Frosttage sind zurückgegangen und die Vegetationszeit ist verlängert (vgl. Kapitel 3.2.1. und Tabelle 22). Folgen dieser Veränderungen werden im folgenden Kapitel beispielhaft aufgeführt.

Auch die strukturellen Rahmenbedingungen für die Produktion haben sich in den vergangenen Jahrzehnten verändert. Die Waldfläche wächst an. Seit 2010 ist sie um rund 2000 ha grösser geworden und der Holzvorrat legt jährlich um 0.5 % zu (AWN, 2014c). Diese Entwicklung ist in erster Linie auf das Einwachsen ehemals landwirtschaftlich genutzter Flächen zurückzuführen. Die Zahl der Beschäf-

tigten in der Waldwirtschaft ist rückläufig. (AWN, 2014c). Es ist wahrscheinlich, dass die verschiedenen Ansprüche an den Wald mit der anwachsenden Bevölkerung in Zukunft zunehmen werden.

Herausforderungen durch den Klimawandel

Das Klima und seine zukünftige Entwicklung beeinflussen das Wachstum und die Artenvielfalt im Wald (Baumarten, Schädlinge etc.) und entsprechend auch die Möglichkeiten seiner Nutzung. Die veränderte Dynamik der Naturgefahren wird die Schutz- und Nutzfunktionen des Waldes beeinflussen und umgekehrt. Im folgenden Kapitel werden die Gefahren und Effekte Veränderung Mitteltemperatur, Trockenheit, Lawinen, Steinschlag/Felssturz/Bergsturz, Waldbrand sowie Sturm/Orkan analysiert (vgl. Abbildung 8). Die Infrastruktur der Waldwirtschaft wird dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude zugeordnet.

4.5.2 Ergebnisse und Diskussion

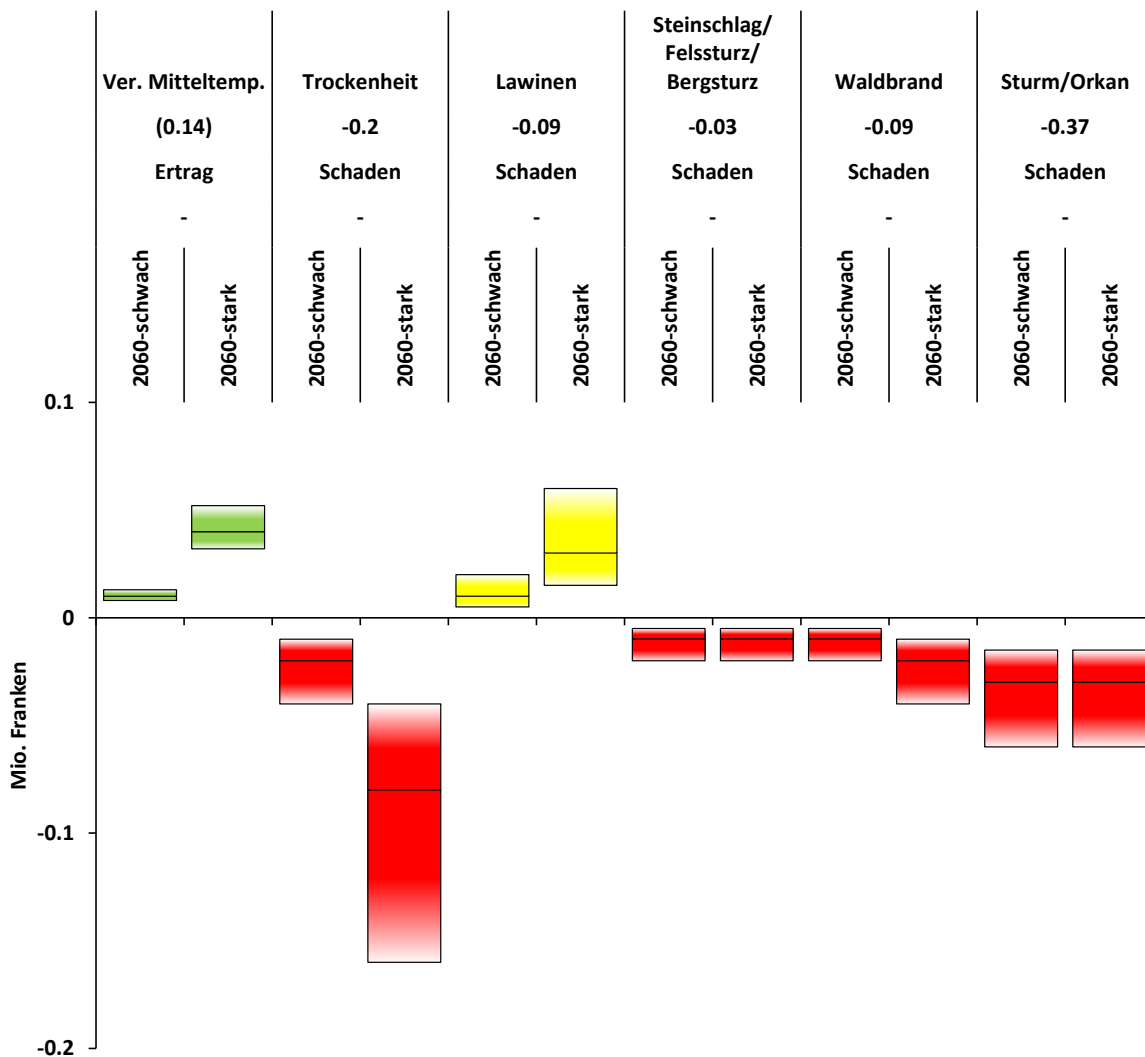


Abbildung 8. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Waldwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 35 bis 40.

Veränderung Mitteltemperatur

Steigende Mitteltemperaturen verlängern die Vegetationszeit und beschleunigen das Wachstum der Bäume. Bäume reagieren im gemässigten Klima des Kantons Graubünden auf ein Plus an Wärme mit mehr Wachstum, unabhängig von der Niederschlagsmenge (WSL, 2014e). Steigende Temperaturen dürften auch dazu führen, dass einzelne Arten ihr Areal in höhere Lagen ausweiten, etwa die Weisstanne und einige Laubbäume. So kommen beispielsweise zwischen Klosters und Davos in der Krautschicht des Fichtenwaldes neu auch junge Buchen auf. Im Gegensatz zu vor hundert Jahren vermehren sich in der Region Davos zudem Bergahorn und vereinzelt auch Esche und Weisstanne bereits natürlicherweise (eigene Beobachtungen, vgl. Schibler, 1937). Modelle gehen davon aus, dass der Klimawandel dazu führt, dass die Fichte an vielen Standorten von der Buche verdrängt wird (Schüler et al., 2013). Das Sortiment gerade an montanen und subalpinen Standorten könnte dadurch diverser und für die Bewirtschaftung interessanter werden.

Ein Vordringen von Baumarten in grössere Höhen zeichnet sich augenscheinlich auch an der Waldgrenze ab. Die obere Grenze des Waldes liegt weltweit auf einer Höhe, in welcher die Mitteltemperatur während dreier Monate bei ungefähr 6.5 °C liegt (Körner, 2012). In Anlehnung an diese Regel und gemäss den Klimaszenarien (CH 2011, 2011) ist zu erwarten, dass die Baumgrenze um 2060 beispielsweise das Weissfluhjoch erreicht (2690 m ü. M., Mittelwert Juni, Juli, August: 6.55 °C; 2060-schwach), respektive gar übersteigt Juni, Juli, August: 8.5 °C (2060-stark). Bereits heute sind im Kanton bis in Höhen von über 2900 m ü. M. Bäume zu finden, auch beim Weissfluhjoch (eigene Beobachtungen). Diese Bäume, es sind die heutigen Baumarten der Waldgrenze (Lärche, Arve und Fichte) sind bis anhin sehr kleingewachsen.

Grundsätzlich scheinen die Bäume oberhalb von etwa 1200 m gleich gut oder sogar besser zu wachsen als in den vorangegangenen Jahren (Jolly et al., 2005). Satellitenbilder belegen, dass in den Hochlagen der Alpen die Vegetation im überdurchschnittlich warmen Jahr 2003 mehr Biomasse produzierte als in früheren Jahren, während in den Tieflagen die Produktion reduziert war (Jolly et al., 2005).

Die Temperaturen steigen auch in Zukunft weiter an. Es ist aufgrund der oben ausgeführten Ergebnisse davon auszugehen, dass die Veränderung der Mitteltemperatur Chancen für die Waldwirtschaft bringt, denn die Bäume wachsen rascher und die Waldfläche und mit ihr der Schutzwald kann sich theoretisch in grössere Höhen ausdehnen (vgl. Abbildung 8). In montanen bis subalpinen Lagen wird sich zudem das Sortiment vergrössern.

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- **L101, F101, B101 Ansteigen Baum- und Waldgrenze**
- F3 Klimasensitive Waldstandorte
- **B2 Arten und Lebensräume**
- B5 Ökosystemleistungen
- R5LR Land/Waldwirtschaft

Trockenheit

Trockenheit reduziert den Stoffwechsel der Bäume. Die Assimilation wird eingeschränkt und die Bäume verlieren Blätter wobei die assimilierende Oberfläche verkleinert wird. Auch verfrühte herbstliche Laubfärbung und Laubfall kann eintreten (Waldwissen, 2015). Zuwachs und Fruchtbildung werden verringert und im Extremfall sterben Wipfel, Äste oder der ganze Baum ab (Waldwissen, 2015). Gleichzeitig wird das Risiko grösser, dass der Baum von schädlichen Insekten oder Pilzen befallen wird. Beispielsweise sind Fichten aufgrund der Trockenheit des Jahres 1976 über mehrere Folgejahre hinweg nur sehr reduziert gewachsen (Waldwissen, 2015). Generell reagieren Waldbäume empfindlich auf wiederholte Trockenheit, vor allem auf wenig tiefgründigen Böden. Die Trockenheit im Jahr 2003 führte zu einer Reduktion des Stammzuwachses in den Tieflagen der Schweiz zwischen 20 und 60 %, trotzdem dass die Vegetationsperiode länger war (Dobbertin und Giuggiola, 2006). Keimungsversuche zeigen jedoch, dass etwa die Waldföhre auch bei Trockenheit in der Verjüngung kaum limitiert ist (WSL, 2014e).

Aufgrund der klimatischen Entwicklungen ist zu erwarten, dass das Risiko welches von Sommertrockenheit ausgeht, für die Waldwirtschaft zunehmen wird (vgl. Abbildung 8). Davon sind insbesondere ausgewachsene Bäume betroffen, welche auf flachgründigen Böden stocken. Trockenheitsresistente Baumarten werden möglicherweise konkurrenzkräftiger gegenüber nicht oder wenig resistenten Arten. Junge Bäume scheinen von Trockenheit weniger betroffen. Sie sind viel eher in der Lage ihren Stoffwechsel und ihr Wurzelsystem an geringe Wasserverfügbarkeit anzupassen.

Handlungsfelder:

- L5 Schadorganismen
- F1 Kritische Schutzwälder
- F2 Nadelholzreiche Bestände in tiefen Lagen
- F3 Klimasensitive Standorte

Lawinen

In Graubünden sind seit 1999 rund 180 ha Wald oder 13 000 m³ Holz durch Lawinen beschädigt worden (AWN, 2014a). Die Gefährdung des Waldes durch Lawinen dürfte in Zukunft eher zurückgehen (vgl. Abbildung 8).

Der Wald dürfte von einer reduzierten Lawinenaktivität profitieren, zumal auch die ansteigende Waldgrenze möglicherweise mehr Lawinenanrisse verhindern wird. Grosse Ereignisse mit für den Wald verheerendem Ausmass können auch in einer wärmeren Zukunft nicht ausgeschlossen werden. Im Lawinenwinter 1999 etwa wurden etliche baumbestandene Lawinenzüge ausgeräumt (SLF, 2000).

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- N6 Lawinen
- N10 Winterstürme
- N101 Schneedruck
- **L101, F101, B101 Baum- und Waldgrenze**
- F1 Kritische Schutzwälder
- B5 Ökosystemleistungen

Steinschlag, Fels- und Bergsturz

Steine und Blöcke beschädigen auf ihrem Weg ins Tal Bäume und zerschlagen den Wald. In den vergangenen 15 Jahren wurden dadurch rund 42 ha Wald betroffen, wobei rund 5100 m³ Schadholz anfielen (AWN, 2014a).

Aufgrund der klimatischen Entwicklungen nimmt erwartungsgemäss das Risiko für Schäden am Wald durch Steinschlag/Felssturz/Bergsturz zu (vgl. Abbildung 8). Davon sind insbesondere Wälder an steilen Flanken in geologisch instabilen Gebieten betroffen. Da Laubholz (insbesondere die Rotbuche und der Bergahorn) bei Stein-Baum-Kontakten mehr Energie aufnehmen kann als Nadelholz (Dorren et al., 2005), könnte ein zukünftig mit mehr Laubholz bestockter Schutzwald effektiver werden.

Handlungsfelder:

- N4 Sturzprozesse (Alpenraum)
- N5 Schutzwald
- L101, F101, B101 Ansteigen Baum- und Waldgrenze
- B5 Ökosystemleistungen

Waldbrand

Feuer zerstört in Graubünden jährlich rund 28 ha Wald (vgl. Kapitel 3.3.11). Es ist zu erwarten, dass das Waldbrandrisiko zunimmt (vgl. Abbildung 8), entsprechend der zunehmenden Sommertrockenheit. Dadurch wird sich das einmal entfachte Feuer rascher und weiter ausbreiten können und die Brände allenfalls auch intensiver werden. Das Waldbrandrisiko im Winter und Frühjahr dürfte hingegen eher zurückgehen, da für diese Jahreszeiten mehr Niederschlag prognostiziert wird. Allerdings können geringe Niederschläge die Waldbrandgefahr nur wenig bannen. Erst nach einer gewissen Regendauer gelangt Wasser durchs Kronendach und kann den Waldboden benetzen (AWN, 2013). Auch in einem wärmeren Klima wird in erster Linie der Mensch die Brände auslösen.

Handlungsfelder:

- **W5 Restwasser**
- N5 Schutzwald
- **L3 Trockenheit**
- F3 Klimasensitive Waldstandorte
- F4 Übrige Waldstandorte
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B5 Ökosystemleistungen
- R6UR Soziale Dimension
- RLR5 Land/Waldwirtschaft

Sturm/Orkan

Schweizweit haben die Orkane Vivian (Februar 1990) und Lothar (Dezember 1999) in den vergangenen Jahrzehnten den Wald grossflächig beschädigt. Vivian war einer der seltenen Stürme, die vor allem in den Alpen wüteten (WSL, 2014d), während sich die Sturmschäden durch Lothar auf das Mittelland und die nördlichen Voralpen konzentrierten, so wie eher üblich. Die Windwürfe durch den Orkan Vivian waren das grösste dokumentierte Waldschadenereignis in Graubünden. Vivian forderte 720 000 m³ Schadholz, was mehr als das Doppelte der jährlichen Nutzung im Kanton ist (Kanton Graubünden, 2014b). Nach Sturmereignissen kann sich der Buchdrucker ausbreiten und bereits geschwächte Fichten befallen (Forster et al., 2003). Im Durchschnitt betrug der auf Vivian folgende Buchdrucker-Stehendbefall 1990 bis 1996 rund 50 % der Sturmholzmenge, in den Hauptschadengebieten der Alpen 60 % (Meier et al., 1998, in Forster et al., 2003). Vivian beschädigte auch Schutzwälder, etwa jenen ob Curaglia im Val Medel. Dort und an anderen Orten wurden in der Folge temporäre Lawinenverbauungen erstellt und der Wald wurde neu aufgeforstet.

Die klimatischen Entwicklungen zeigen ungewisse Anzeichen für ein zukünftig verändertes Sturmgemite im Alpenraum. Häufige Ereignisse nehmen möglicherweise eher ab, während seltene grössere Ereignisse eher zunehmen werden (vgl. Kapitel 3.3.12). Grosse Sturmereignisse wird es auch in Zukunft geben (vgl. Abbildung 8).

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- N10 Winterstürme
- F2 Nadelholzreiche Bestände in tiefen Lagen

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Waldwirtschaft im Kanton Graubünden vorstellbar sind, werden wohl am ehesten durch Waldbrand ausgelöst. Brände können die Struktur des Standorts derart verändern, dass die Schutzwirksamkeit aufgehoben und der Boden zudem erosionsgefährdet ist. Nachfolgende Insektenkalamitäten könnten dem umgebenden Wald weiter zusetzen.

4.5.3 Fazit

Die Waldwirtschaft ist vom Klimawandel betroffen. Die grösste Zunahme an Risiken dürfte von Waldbränden oder von anhaltender Trockenheit ausgehen. Demgegenüber sind die Risiken für Windwurf durch Stürme/Orkane eher unverändert und jene durch Lawinen gar rückläufig. Die ansteigenden Mitteltemperaturen offenbaren der Waldwirtschaft Chancen. Die Bäume wachsen rascher und der Wald kann sein Areal in grössere Höhen ausweiten. Dies könnte auch die Schutzwirkung des Waldes vergrössern. Allerdings ist der Bereich über der aktuellen Waldgrenze oftmals landwirtschaftlich genutzt. Es bleibt unklar, wie und ob sich die Ansprüche an diesen auch aus Sicht der Biodiversität wertvollen Lebensraum verschieben werden. Extremereignisse könnten die Schutzwirksamkeit des Waldes aufheben. Dies ist insbesondere nach intensiven Waldbränden vorstellbar, wenn kein Holz die Schneedecke stabilisiert und der offene Boden der Erosion zugänglich ist.

Grundsätzlich scheinen kleinflächige Schäden am Wald nicht nur nachteilig. Die entstehenden Lücken könnten durch klimatisch passende Baumarten gefüllt werden. Dadurch würde der Wald rascher an

den Klimawandel angepasst, als über seine über ein Jahrhundert dauernde Umtriebszeit. Generell ist Vielfalt die beste Versicherung gegenüber dem Klimawandel: je mehr Arten im Jungwuchs vorkommen, desto wahrscheinlicher ist es, dass auch einige dabei sind, die den neuen Bedingungen standhalten (Morin et al., 2014). Das Sortiment im Wald ist allerdings auch wesentlich eine Frage der Waldpflege. Diese richtet sich nach dem Markt, respektive nach der Nachfrage (AWN, 2015).

4.6 Energie

4.6.1 Zahlen und Fakten



Konsum und Produktion von Energie im Kanton Graubünden stehen in Wechselwirkung mit dem Klima. Zum Heizen der Gebäude wird in erster Linie Heizöl verbrannt, dessen Verbrennungsprodukt, das CO₂, zum Klimawandel beiträgt. Demgegenüber wird an zahlreichen Gewässern erneuerbare Energie produziert. Der Wasserabfluss, der Motor der Energieproduktion, wird sich durch die Veränderung des Niederschlagsregimes erwartungsgemäss ändern.

Werte und Verletzlichkeiten

Die Energiewirtschaft ist eine der wichtigsten Branchen im Kanton Graubünden. Die Energiebilanz weist für das Jahr 2012 einen Endenergieverbrauch von 7600 Gigawattstunden (GWh) aus (AEV, 2013). Davon entfallen 70 % auf fossile Energien. Rund 25 % der Energie werden durch Strom bzw. Elektrizität abgedeckt (AEV, 2013). Die Bündner Wasserkraft produziert pro Jahr durchschnittlich 8000 GWh Strom (Regierung des Kantons Graubünden, 2012), was mehr Energie ist, als im ganzen Kanton verbraucht wird. Die jährliche Produktion variiert erheblich. In den vergangenen 15 Jahren lag die effektive Produktion zwischen maximal 10 400 GWh (im Jahr 2001) und minimal 5600 GWh (im Jahr 2006). Rund 91 % dieses Stroms werden in Kraftwerken mit mehr als 10 MW installierter Leistung produziert. Gemäss dem WWF werden im Kanton 95 % der nutzbaren Gewässer verstromt (WWF, 2014a), unter anderem durch fünf grosse Pumpspeicherkraftwerke (WWF, 2014b).

Die Energieversorgung erreichte zusammen mit der Wasserversorgung im Kanton Graubünden einen Anteil von 11 % an der Bruttowertschöpfung. Sie beschäftigte 2008 rund 1 % aller Arbeitnehmenden (rund 1000 Personen; GKB und AWT, 2013). Energie wird aber auch in grossem Umfang importiert. Jährlich werden Energieträger (v.a. Erdöl und Erdölprodukte) im Wert von rund 117 Mio. Franken nach Graubünden eingeführt (GKB und AWT, 2013).

Die Verletzlichkeit des Auswirkungsbereichs Energie gegenüber klimaabhängigen Risiken hängt wesentlich von der Nachfrage nach Energie und von der Verfügbarkeit des Wassers ab.

Trends und Tendenzen

Der Energieverbrauch im Kanton Graubünden ist seit 1990 mehr oder weniger gleich hoch geblieben (ECOSPEEDRegion, 2015). Die Stromproduktion hat sich im gleichen Zeitraum von durchschnittlich 7000 GWh auf rund 8000 GWh erhöht (Regierung des Kantons Graubünden, 2012). Inwieweit der Klimawandel Einfluss auf diese Veränderungen hatte ist unklar.

Die Energieszenarien bis 2050 für die Schweiz gehen davon aus, dass die Elektrizitätsnachfrage um bis 20 % zurückgehen wird, während die Endenergienachfrage um ein Drittel bis die Hälfte zurückgehen wird (BFE, 2013). Experten erwarten, dass die Stromerzeugung für die Elektrizitätsunternehmen in den nächsten Jahren tendenziell teurer wird (BFE, 2011).

Herausforderungen durch den Klimawandel

Das Klima und seine Entwicklung haben Einfluss darauf, wie viel Energie produziert, verteilt und konsumiert wird. Das vorliegende Arbeitspapier analysiert im folgenden Kapitel, welche Veränderungen von Risiken und Chancen sich durch die Gefahren und Effekte Veränderung Mitteltemperatur, Hitze-welle sowie Änderung Niederschlagsregime ergeben (vgl. Abbildung 9). Die Infrastruktur der Energie wird dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude zugeordnet.

4.6.2 Ergebnisse und Diskussion

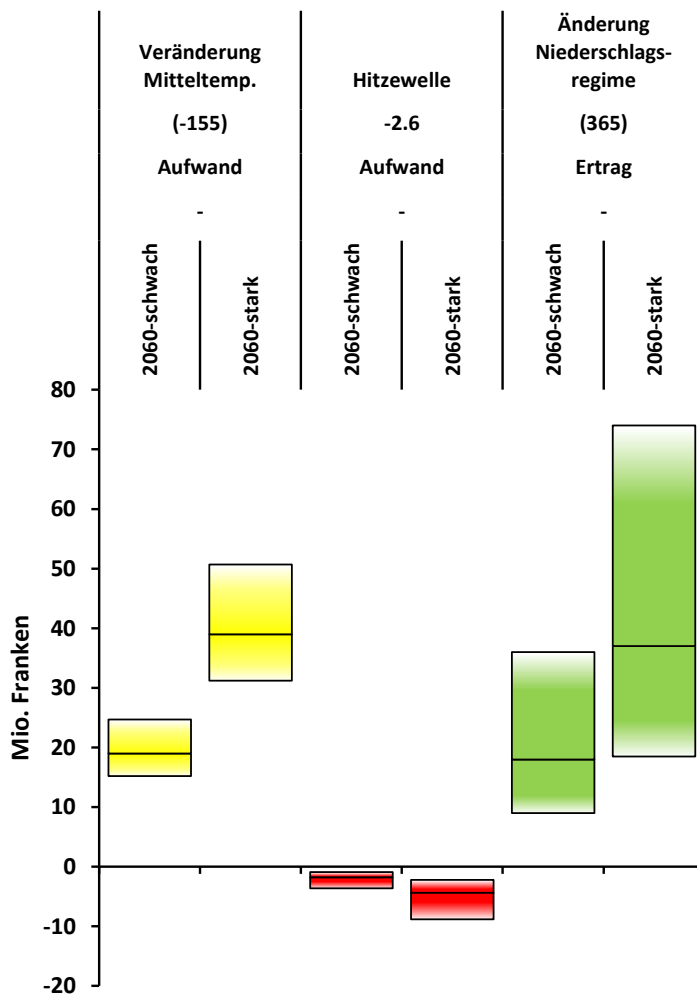


Abbildung 9. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Energie. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabelle 41 bis 43.

Veränderung Mitteltemperatur

Steigende Temperaturen verringern die Notwendigkeit, die Wohnräume zu heizen, was nicht nur die Haushalte in ihrem Budget sondern auch das Klima entlasten wird (vgl. Abbildung 9). Analog zum Kühlbedarf wird der theoretische Heizbedarf in Heizgradtagen bemessen (vgl. Kapitel 6.2). Statt der Heizgradtage werden für die Ermittlung des Heizenergiebedarfs mehr und mehr die sogenannten akkumulierten Temperaturdifferenzen (ATD) verwendet (Zweifel, 2015). Wir verfahren hier jedoch mit den HGT. Heute werden in den Tallagen des Kantons etwa in Grono rund 2500 Heizgradtage festgestellt. In subalpinen Lagen sind es mehr als doppelt so viele Heizgradtage (beispielsweise 6400 Heizgradtage in Samedan).

Die Klimaszenarien besagen, dass die Heizgradtage zurückgehen werden (vgl. Zubler et al., 2014 und Tabelle 22). Die geringere Zahl der Heizgradtage zieht eine geringere Energienachfrage für das Heizen von Wohn- und Büroräumen nach sich, was sich auf die Haushalte günstig auswirken wird.

Hitzewelle

Während Hitzewellen steigt der Bedarf, Wohnräume zu kühlen. Der theoretische Kühlbedarf wird in Kühlgradtagen bemessen (vgl. Kapitel 6.2). Heute werden in den Tallagen des Kantons rund 200 Kühlgradtage festgestellt (vgl. Tabelle 22). In montanen Lagen werden noch 50 Kühlgradtage festgestellt (Disentis), in subalpinen Lagen keine mehr. Gemäss den Klimaszenarien werden in Grono doppelt (2060-schwach) bis dreimal so viele Kühlgradtage gezählt wie bisher (2060-stark; Zubler et al., 2014). Die zunehmenden Kühlgradtage bedeuten, dass in Zukunft mehr Strom zu Kühlzwecken nachgefragt werden wird. Dies stellt für die Haushalte eine Belastung dar (vgl. Abbildung 9).

Handlungsfelder:

- **W101 Wasserkraft**
- E1 Energiebedarf Klimatisierung/Kühlung Gebäude

Änderung Niederschlagsregime, Trockenheit

Die Bündner Stromproduktion hängt weitgehend vom Wasserabfluss ab. Die Einzugsgebiete in Gletschnähe weisen heute gegenüber früher grössere Abflüsse im Winter und auch im Sommer auf. Von Schneeschmelze und Regen dominierte Gebiete hingegen weisen eher niedrigere Abflüsse im Sommer und grössere im Winter auf. Für 2021 bis 2050 wird eine Verstärkung der beobachteten Veränderungen projiziert. Die zukünftigen Abflussregimes können sich positiv auf die Wasserkraftnutzung auswirken, selbst wenn im Sommer der Zufluss signifikant abnehmen wird (vgl. Abbildung 9). Für die Kraftwerke Prättigau wurde eine Steigerung der Produktion um 9.3 % im Jahresdurchschnitt prognostiziert (Winter plus 26 %, Sommer plus 0.4 %; Hänggi, 2011). Je nach Kraftwerkstyp bzw. Auslegung der Fassungskapazität wirkt sich die Klimaänderung allerdings unterschiedlich auf die Stromproduktion aus (Hänggi, 2011). Die Änderung des Niederschlagsregimes bedeutet somit theoretisch eine zusätzliche Chance für die klimaschonende Stromproduktion in Graubünden.

Entgegen den Fallbeispielen etwa aus dem Prättigau oder dem Kanton Glarus (Hänggi, 2011), werden in anderen Regionen nur kleine Veränderungen erwartet, im südlichen und östlichen Wallis eher im leicht negativen Bereich (SGHL und CHy, 2011). Kleine Wasserkraftwerke sind dem aktuellen Wasserabfluss ausgeliefert. Im Jahr 2003 wiesen Flüsse und Bäche aus unvergletscherten Einzugsgebieten teils stark verminderte Abflüsse auf. Kleinere Laufkraftwerke mussten gar abgestellt werden (Björnson Gurung, Stähli, 2014). Demgegenüber führte 2003 die ausserordentlich starke Schnee- und Gletscherschmelze zu einem überdurchschnittlichen Wasserangebot in den Fliessgewässern mit hochalpinen Einzugsgebieten (BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004).

Handlungsfelder:

- **W4 Bewässerung**
- **W5 Restwasser**
- **W101 Wasserkraft**
- **L3 Trockenheit**
- E2 Elektrizitätserzeugung Wasser-KW
- **B2 Arten und Lebensräume**
- B5 Ökosystemleistungen
- R4LR Energie/Wasser

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Energie im Kanton Graubünden vorstellbar sind, werden wohl am ehesten durch die Änderung im Niederschlagsregime und durch Hitzewellen ausgelöst. So könnten extreme Hitzewellen einerseits eine hohe Nachfrage nach Energie zu Kühlzwecken hervorrufen, während gleichzeitig die Netze erheblich belastet werden (vgl. Infrastruktur und Gebäude).

4.6.3 Fazit

Der Auswirkungsbereich Energie ist vom Klimawandel stark betroffen. Die wärmeren Temperaturen führen erwartungsgemäss dazu, dass weniger geheizt werden muss, was den Haushalten und dem

Klima zugutekommt. Demgegenüber steigt das Bedürfnis Räume zu kühlen, wenn die Hitze grösser wird und länger anhält. Der Wasserkraft dürften in den kommenden Jahrzehnten Vorteile erwachsen, weil zunehmender Niederschlag und zudem Regen statt Schnee bis in höhere Lagen das Wasserdargebot in der vergleichsweise abflussschwachen, kalten Jahreszeit noch einige Jahrzehnte lang vergrössern wird. Klimawandelbedingte Extremereignisse gehen am ehesten von Hitzewellen aus und betreffen die Nutzbarkeit der Netze (vgl. Kapitel 4.8).

4.7 Tourismus

4.7.1 Zahlen und Fakten



Der Tourismus lebt vom Klima. Die touristischen Angebote im Kanton Graubünden basieren auf schneebedeckten Hängen für den Wintersport und im Sommer locken gletscherbedeckte Gipfel Gäste ins Gebirge. Ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen, so ändern auch die touristischen Möglichkeiten.

Werte und Verletzlichkeiten

Der Tourismus ist der wichtigste Wirtschaftszweig im Kanton. Mit rund 3.3 Mia. Franken pro Jahr können im Kanton knapp über 30 % der erwirtschafteten Bruttowertschöpfung auf den Tourismus zurückgeführt werden. Er verzeichnet knapp 11 Mio. Logiernächte pro Jahr (Kanton Graubünden, 2014d). Der Kanton Graubünden verfügt heute über schätzungsweise 260 000 Gästebetten, wovon sich etwa 18 % in der Hotellerie befinden (Regierung des Kantons Graubünden, 2014). Der Tourismus ist entsprechend seiner wirtschaftlichen Bedeutung auch ein wichtiger Arbeitgeber. Er beschäftigt direkt oder indirekt rund 30 % der Erwerbstätigen im Kanton (HTW, 2008). Das Beherbergungsgewerbe ist die wichtigste Branche der touristischen Leistungsträger. Dieses erzielt rund 92 % seiner 600 Mio. Franken Wertschöpfung aus dem Tourismus (HTW, 2008). Die Wertschöpfung der Gaststätten (148 Mio. Franken) werden ungefähr zur Hälfte durch den Tourismus eingebracht, während die Verkehrsträger eine touristisch generierte Bruttowertschöpfung von insgesamt etwa 270 Mio. Franken erreichen, 127 Mio. Franken allein durch die Bergbahnen (HTW, 2008). Gerade die Bergbahnen sind stark auf den Winter ausgerichtet. In Graubünden hält die Wintersaison 93 % der gesamten Bruttowertschöpfung. Demgegenüber sind es im Wallis 83 %, und im Berner Oberland 73 %. Im Tessin sind Sommer- und Winteranteil fast gleich gross (SBS, 2014).

Die Verletzlichkeit des Tourismus ist stark durch die klimatischen Bedingungen in den Regionen, die gesamtwirtschaftliche Lage und durch die Konkurrenz im In- und Ausland geprägt.

Trends und Tendenzen

Die Zahl der Logiernächte im Kanton Graubünden ist von rund 4 Mio. pro Jahr am Ende des 2. Weltkriegs auf über 14 Mio. zu Beginn der 1990er Jahre angestiegen (BFS, 2014c). Seither stagnieren die Zahlen oder sie sind rückläufig. In den zwanzig Jahren zwischen 1992 und 2012 nahm die Zahl der Logiernächte um 1.8 Mio. ab, wobei heute primär die Gäste aus der Schweiz und dem nahen Ausland fehlen (Plaz und Isenring, 2013). Im Winter des Jahres 2011/12 wurden schweizweit knapp 25 Mio. Gäste in den Skigebieten gezählt. Dies sind knapp 5 % weniger als im schneearmen Winter 2010/11 (SBS, 2012). Der Verkehrsertrag nahm gleichzeitig um 10 % ab (SBS, 2012). Die Rezession in umliegenden Ländern, der hohe Kurs des Schweizer Frankens sowie strukturelle Gründe stellen mögliche Erklärungsansätze für diesen Nachfragerückgang dar (BFS, 2014c).

Die Schweizer Skigebiete kämpfen bereits seit einigen Jahren gegen Schneemangel. Die Fläche der mit Kunstschnee präparierten Pisten ist von knapp 5 % im Jahr 2000 auf 41 % (92 km²) der gesamten Pistenfläche in der Saison 2012/13 angewachsen (SBS, 2014). Im Vergleich zum Ausland (Österreich: 60 % (Wintersaison 2012/13); Italien: 70 % (Wintersaison 2007/08)) ist der Anteil der beschneiten Fläche weniger gross (SBS, 2014). Für die Beschneiungsanlagen wurden schweizweit seit dem Jahr 2000 mehr als 45 Mio. Franken investiert (SBS, 2012).

Gemäss Seilbahnen Schweiz SBS wird die Bedeutung der Sommersaison zukünftig schweizweit zunehmen. Dies ist zum einen klimatisch bedingt und basiert zum anderen auf dem grossen Wachstumspotential des Ausflugs- und Erlebnisgeschäfts im Sommer (SBS, 2012).

Herausforderungen durch den Klimawandel

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert im folgenden Kapitel, welche veränderten Risiken und Chancen sich durch die Gefahren und Effekte Hitzewelle, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher sowie Lawinen ergeben (vgl. Abbildung 10). Die Infrastruktur des Tourismus wird dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude zugeordnet.

4.7.2 Ergebnisse und Diskussion

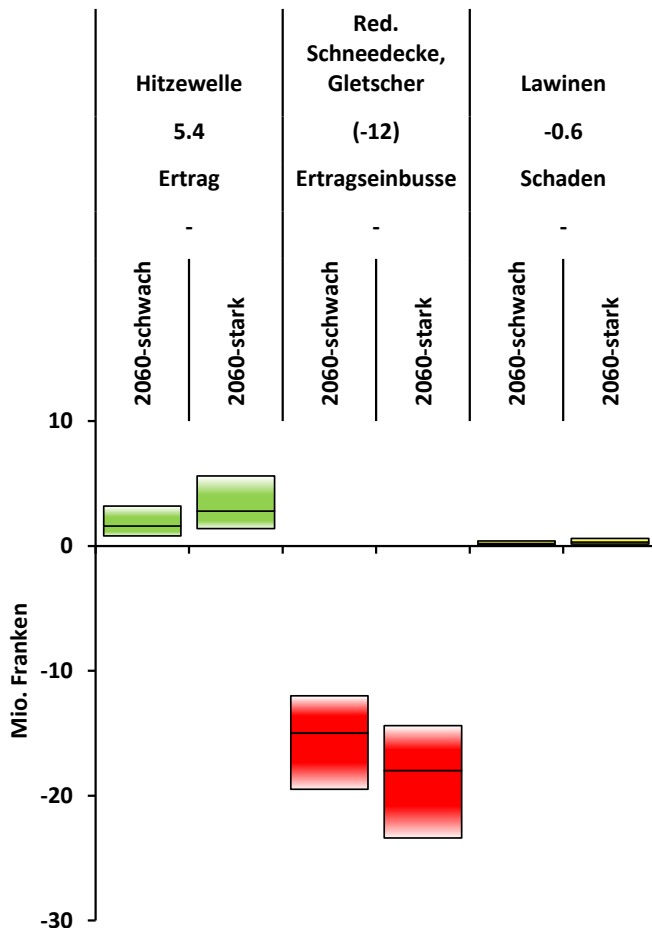


Abbildung 10. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Tourismus. In der dritten Zeile ist der heutige Erwartungswert aufgeführt. Rote Balken bilden die Risiken (Schaden) ab, grüne Balken die Chancen (Ertrag). Rückläufige Risiken sind gelb markiert. Die grau punktierten Bereiche bezeichnen den Geltungsbereich der Ergebnisse (Unsicherheitsbereich). Die Ergebnisse sind in Mio. Franken ausgewiesen. Der Indikator bezeichnet die Berechnungsgrundlage. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 44 bis 46.

Hitzewelle

Ferienreisende wählen ihre Destination massgeblich nach dem vorherrschenden Wetter. So hat das hochsommerliche Wetter im Juli 2013 den Tourismusbetrieben in Österreich Rekordzahlen beschert. Insbesondere inländische Gäste haben gemäss Wirtschaftskammer Österreich (2013) die Schönwetterperiode des Julis vermehrt für spontane Kurzferien im eigenen Land genutzt. Zu Graubünden oder der Schweiz konnten keine entsprechenden Angaben gefunden werden.

Hitzewellen gehen mit längeren Schönwetterperioden einher, also Wetterbedingungen, wie sie der Sommertourismus bevorzugt (vgl. AWT, 2013). Zwar ist es während Hitzewellen in Tallagen unangenehm heiss. In höheren Lagen erreicht die Temperatur am Tag jedoch nur sehr selten 30 °C und Tropennächte bleiben weitgehend aus. Zunehmende Hitzewellen wirken sich entsprechend erwartungs-

gemäss positiv auf den Tourismus aus (vgl. Abbildung 10). Tourismusbetriebe insbesondere in höheren Lagen oder Badeseen wie etwa der Caumasee bei Flims könnten noch mehr Gäste anlocken. Wandergebiete in höher gelegenen Regionen könnten in Zukunft häufiger als Ausflugsziele gewählt werden, auch weil an traditionellen Feriendestinationen etwa im Mittelmeerraum der Sommer sehr heiss werden wird.

Handlungsfelder:

- **W5 Restwasser**
- T101 Sommerfrische
- T104 Wetterunabhängige Angebote
- B5 Ökosystemleistungen
- **G2M Hitze, Ozon**
- R7LR Ökosystemleistungen

Reduktion der Schneedecke

Schnee ist die wahrscheinlich wichtigste Grundlage für den Tourismus in Graubünden. Touristische Betriebe wie etwa die Bergbahnen sind teilweise fast gänzlich auf den Winter ausgerichtet. Viele Skigebiete erzielen in der kurzen Zeit über Weihnachten und Neujahr mehr als 20 % ihres Winterumsatzes (Abegg, 2012). Die Reduktion der Schneedecke birgt das Risiko, dass Skigebiete ihre Schneesicherheit und damit Umsatz und Wertschöpfung verlieren. Um abzuschätzen wie überlebensfähig Skigebiete in einem wärmeren Klima sind, wird gerne die sogenannte hundert-Tage-Regel herangezogen (vgl. Kapitel 6.2). Gemäss dieser Definition scheinen in Graubünden die Skigebiete heute weitgehend schneesicher zu sein (AWT, 2013).

Die Klimaszenarien projizieren eine erhebliche Reduktion der Schneedecke (vgl. Kapitel 3.3.6). Bis 2050 wird in vielen Skigebieten die hundert-Tage-Marke unterschritten. Bis 2085 dürften nur noch die hochgelegene Regionen schneesicher sein, also rund die Hälfte aller Skigebiete im Kanton (AWT, 2013). Die herkömmliche Anpassung an die Reduktion der Schneedecke, die Beschneigung, führt nicht automatisch zu besseren Geschäftsergebnissen (Abegg, 2012), sondern kommt durch den Klimawandel ebenfalls an Grenzen. Die Anzahl Tage an welchen Schnee produziert werden kann, würde sich in tieferen Lagen um 50 % reduzieren und auch den besonders wichtigen Start der Saison betreffen (Rixen et al., 2011). Es ist deshalb mit erheblichen Einbussen zu rechnen (vgl. Abbildung 10). Insgesamt dürfte Graubünden jedoch in punkto Schneesicherheit immer noch besser dastehen als konkurrierende Wintersportregionen im In- und Ausland (Abegg, 2012).

Handlungsfelder:

- T102 Infrastruktur im Hochgebirge
- **T103 Wintersport**
- T104 Wetterunabhängige Angebote
- R2LR Tourismus
- R7LR Ökosystemleistungen

Abschmelzen der Gletscher

Gletscher sind Anziehungspunkte für den Tourismus. Vielerorts werden Eisgrotten, Gletscherwanderungen oder Lehrpfade angeboten. Gleich wie die Schneedecke sind auch die Gletscher in den vergangenen Jahrzehnten erheblich zurückgegangen. Anstelle des Eises bilden sich neue Seen und das neue Land wird oft rasch von Pflanzen besiedelt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die kleinen Gletscher Graubündens verschwinden werden (AfW, 2009). Das Abschmelzen der Gletscher könnte dazu führen, dass die hochalpine Landschaft an Attraktivität für den Tourismus verlieren wird (vgl. Abbildung 10). Das Risiko liegt darin, dass der Zugang zu den Gletschern beschwerlicher wird, alpine Routen länger und schwieriger werden und der Unterhalt von Attraktionen (z. B. Gletschergrotten) aufwändiger wird (AWT, 2013). Zudem verliert das Landschaftsbild eine ausserordentliche Attraktion. Rund um die verbleibenden Gletscher wird die Gebirgslandschaft hingegen diverser, was sicherlich auch für den Tourismus attraktiv sein wird. Dass abschmelzende Gletscher auch instabil werden und Gletscherabbrüche eine erhebliche Gefahr darstellen ist eher unwahrscheinlich. In Graubünden werden nur zwei Gletscher als mittelfris-

tig gefährlich beurteilt (VAW, 2015). Es sind dies der Vadret da l'Alp Ota und der Tschierva/ Roseggletscher.

Handlungsfelder:

- **T102 Sommerfrische**
- **B2 Lebensräume und Arten**
- R2LR Tourismus
- R7LR Ökosystemleistungen

Lawinen

Naturereignisse wie Lawinen beeinträchtigen den Tourismus im Berggebiet. Bei grösserer Lawinengefahr und bei Lawinenniedergängen sind Verkehrswege oft unpassierbar und die Feriengäste können oder wollen ihren Ferienort nicht erreichen. Im Lawinenwinter 1999 lagen die Mindereinnahmen (indirekte Kosten) für die Tourismusbranche im Ereignismonat bei rund 8 Mio. Franken (minus 9 % des durchschnittlichen Ertrags), wobei bei den Übernachtungen minus 2.2 Mio. Franken (minus 8 %) und bei den Bergbahnen minus 1.7 Mio. Franken resultierten (minus 10 %; Nöthiger, 2003). Die Mindereinnahmen hielten im Folgemonat bei den Übernachtungen in ähnlicher Höhe an, während Bergbahnen noch 3 % Mindereinnahmen verzeichneten (Nöthiger, 2003).

Analog zu den erwarteten Entwicklungen des Lawinenrisikos (vgl. Kapitel 3.3.8) dürfte das Risiko durch Lawinen für den Tourismus in Zukunft zurückgehen (vgl. Abbildung 10). Demgegenüber könnten die Risiken zunehmen, welche von den Naturgefahren Hochwasser, Überschwemmung, Murgang und Steinschlag/Felssturz/Bergsturz herrühren. Diese wurden hier jedoch nicht analysiert.

Handlungsfelder:

- **N1 Hochwasser**
- N4 Sturzprozesse
- N6 Lawinen
- **T103 Wintersport**
- **R2LR Tourismus**

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Tourismus im Kanton Graubünden vorstellbar sind, werden wohl am ehesten durch die Veränderung der Mitteltemperatur ausgelöst. Ein Winter mit ausserordentlich wenig Schnee könnte unmittelbar den Umsatz und mittelfristig auch die Attraktivität der Bündner Wintersportregionen schädigen. Ein vorstellbares Extremereignis könnte auch von einem Gletscherabbruch ausgehen.

4.7.3 Fazit

Es ist zu erwarten, dass sich die klimatischen Bedingungen für den Wintertourismus bis in subalpine Lagen verschlechtern. Umgekehrt eröffnen wärmere Temperaturen im Gebirge und längere niederschlagsfreie Phasen dem Sommertourismus neue Chancen, insbesondere oberhalb der montanen Lagen. Als klimawandelbedingte Extremereignis ist ein ausserordentlich schneearmer Winter vorstellbar, der die Attraktivität der Bündner Wintersportregionen nachhaltig schädigen könnte.

Der Tourismus ist von entscheidender Bedeutung für den Kanton Graubünden, auch für die peripheren Gebiete (Regierung des Kantons Graubünden, 2014). Die Herausforderungen des Klimawandels anzunehmen und Alternativen zu den herkömmlichen Angeboten zu entwickeln wird nicht nur für die Tourismusregionen sondern für die wirtschaftliche Situation des Kantons bedeutend sein.

4.8 Infrastruktur und Gebäude

4.8.1 Zahlen und Fakten



Infrastruktur und Gebäude sind an ihrem Standort der Witterung und dem Klima ausgesetzt. Die Temperatur der Luft und des Untergrunds bestimmen die Stabilität und Funktion, während klimatische Extremereignisse oder Naturereignisse erheblichen Schaden anrichten können. Veränderungen dieser Aspekte können sich auf den Zustand bestehender und die Planung neuer Infrastrukturen und Gebäude auswirken.

Werte und Verletzlichkeit

Der Kanton Graubünden ist vergleichsweise dünn besiedelt und verfügt über eine gut ausgebaute Infrastruktur. Die Gebäudeversicherung zählt rund 162 000 Gebäude, welche bei ihr versichert sind (plus rund 4500 Bauzeitversicherungen; GVG, 2014b). Von den versicherten Gebäuden sind 41 % Wohnbauten, 25 % sind Nebengebäude und 24 % werden land- und forstwirtschaftlich genutzt.

Die Infrastruktur umfasst Bauten und Anlagen für die Versorgung und Einspeisung der Energie, für den Schutz vor Naturgefahren, für die touristische Nutzung, für den Verkehr auf Schiene und Strasse oder für die Wasserwirtschaft. Für die Verteilung und Einspeisung der Elektrizität werden rund 10 000 km Stromleitungen betrieben (Regierung des Kantons Graubünden, 2012). Die touristische Erschliessung der Ski- und Wandergebiete umfasst 330 Seilbahnen und Schlepplifte (SBS, 2012). Rund 10 000 km Wanderwege erschliessen die Landschaft Graubündens (BAW, 2015). Das Strassennetz zieht sich über eine Länge von rund 3700 km durch den Kanton (BFS, 2014f). Rund 850 Verbauungsgebiete schützen die Bevölkerung in Siedlungen oder auf Hauptverkehrsachsen vor Naturgefahrenereignissen (AWN, 2011). Die Bauten erstrecken sich über eine Länge von 480 km. Über die Hälfte (53 %, 165 km Länge) sind Hang- oder Bachverbauungen, rund ein Drittel sind Lawinenverbauungen (34 %, 279 km Länge), und 13 % sind Steinschlagverbauungen (37 km; AWN, 2011). Rund 300 Anlagen von Gemeinden und Korporationen versorgen die Bevölkerung mit Trinkwasser (ALT, 2015).

Gebäude und einzelne Bereiche der Infrastruktur sind mit einem Gesamtwert von rund 107 Mia. Franken bei der Gebäudeversicherung Graubünden (GVG) versichert (GVG, 2014b). Die GVG unterschied bis Ende 2014 insgesamt 3 Klassen an versicherten Gebäuden. Zur Klasse 1 gehören die Massivbauten mit rund 67 000 Gebäuden und 68 Mia. Franken Versicherungswert, zur Klasse 2 die gemischten Bauweisen mit 16 000 Gebäuden und 15.3 Mia. Franken Versicherungswert, sowie zur Klasse 3 die Holzbauten mit 79 000 Gebäuden und 19.5 Mia. Franken Versicherungswert. Seit 2015 unterscheidet die GVG nur noch zwei Klassen: Klasse A (ehemalig Klasse 1 und Klasse 2) und Klasse B (ehemalig Klasse 3). Den grössten Anteil an der Versicherungssumme machen die Wohngebäude aus (65 %), gefolgt von den Industrie- und Verwaltungsgebäuden und dem Gastgewerbe.

Die Umweltinfrastruktur (Trinkwasserfassungen, Kanalisation, Lawinenverbauungen, Monitoringanlagen etc., vgl. BAFU, 2012e) hat einen erheblichen Wert. Ihr Wiederbeschaffungswert (WBW) beträgt für die Schweiz rund 320 Mia. Franken (180 Mia. Franken öffentliche Umweltinfrastruktur), wobei der Bereich Wasser zwei Drittel und der Bereich Schutz gegen Naturgefahren ein Viertel des gesamten WBW ausmachen (Peter, 2009). Der Wiederbeschaffungswert der Schutzbauten beläuft sich in Graubünden auf geschätzte 700 bis 900 Mio. Franken (Stand 2011). In Graubünden werden von Bund, Kanton und Bauherrschaften für Schutzbauten jährlich gesamthaft 18 Mio. Franken und für die Pflege des Schutzwaldes 16 Mio. Franken aufgewendet (AWN, 2011). Die Gemeinden haben für ihre Abwasseranlagen hohe Investitionen getätigt. An die subventionsberechtigten Anlagekosten von fast 730 Mio. Franken leisteten Bund und Kanton fast 390 Mio. Franken Beiträge.

Die Finanzierung der Umweltinfrastruktur erfolgt unterschiedlich. Den Schutz vor Naturgefahren übernehmen der Bund, die Kantone und die Gemeinden aus allgemeinen öffentlichen Mitteln, je zu

etwa gleichen Teilen für den Bau. Die Last des Unterhalts liegt vorwiegend bei den Gemeinden. Für das Trinkwasser und die Abwasser- und Abfallentsorgung teilen sich Bund, Kanton und Gemeinden den Bau, den Betrieb und den Unterhalt. Die Nutzerinnen und Nutzer bezahlen dafür Gebühren (BAFU, 2012e).

Die Verletzlichkeit von Infrastruktur und Gebäuden hängt nebst ihrer Exposition gegenüber Risiken auch von der Bauweise ab.

Trends und Tendenzen

Die Raumnutzung ändert sehr rasch. Die Siedlungsfläche im Kanton ist in den vergangenen 15 Jahren um 13 % angewachsen (ARE, 2010). Mit der Zweitwohnungsinitiative und der Revision des Raumplanungsgesetzes wird sich die Ausdehnung der Siedlungsfläche gegenüber der bisherigen Entwicklung erwartungsgemäss abschwächen. Die Schweizer Raum- und Siedlungsentwicklung ist geprägt vom Phänomen der Metropolisierung. Sie ist charakterisiert durch wenige Grosszentren und immer weiter ausgreifende Pendlerströme (NFP 54, 2011). Dies dürfte auch für Graubünden zutreffen.

Die rasante Entwicklung des Siedlungsraums spiegelt sich auch in der Entwicklung der Gebäude (vgl. Abbildung 11) und ihres Versicherungswertes wieder. Seit 2004 stieg der Versicherungswert von rund 80 Mia. Franken auf 107 Mia. Franken an. Die Summe der Prämien- und Präventionsabgaben stieg im selben Zeitraum um 25 % an. Die Anzahl versicherter Gebäude wächst jährlich um rund 1 % an (vgl. GVG Jahresberichte der Jahre 2007 bis 2014).

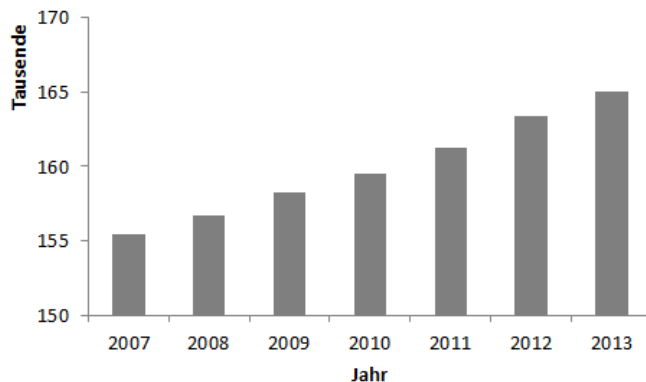


Abbildung 11. Entwicklung des versicherten Gebäudebestandes (Anzahl Gebäude) im Kanton Graubünden seit 2007 (Darstellung basierend auf Jahresberichten GVG; vgl. GVG, 2014b).

Die Gesamtlänge des Strassennetzes hat sich in den vergangenen zehn Jahren kaum verändert. Hingegen hat der Verkehr erheblich zugenommen. So werden auf der Autobahn in Richtung Chur heute 22 % mehr Fahrzeuge gezählt, auf der Haupttrasse in Richtung Davos 11 % mehr Fahrzeuge als vor zehn Jahren (TBA, 2014a).

Herausforderungen durch den Klimawandel

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert im folgenden Kapitel, welche veränderte Risiken und Chancen sich durch die Gefahren und Effekte Änderung Niederschlagsregime, Auftauen Permafrost, Lawinen, Hochwasser, Steinschlag/Felssturz/Bergsturz sowie Sturm/Orkan ergeben (vgl. Abbildung 12).

4.8.2 Ergebnisse und Diskussion

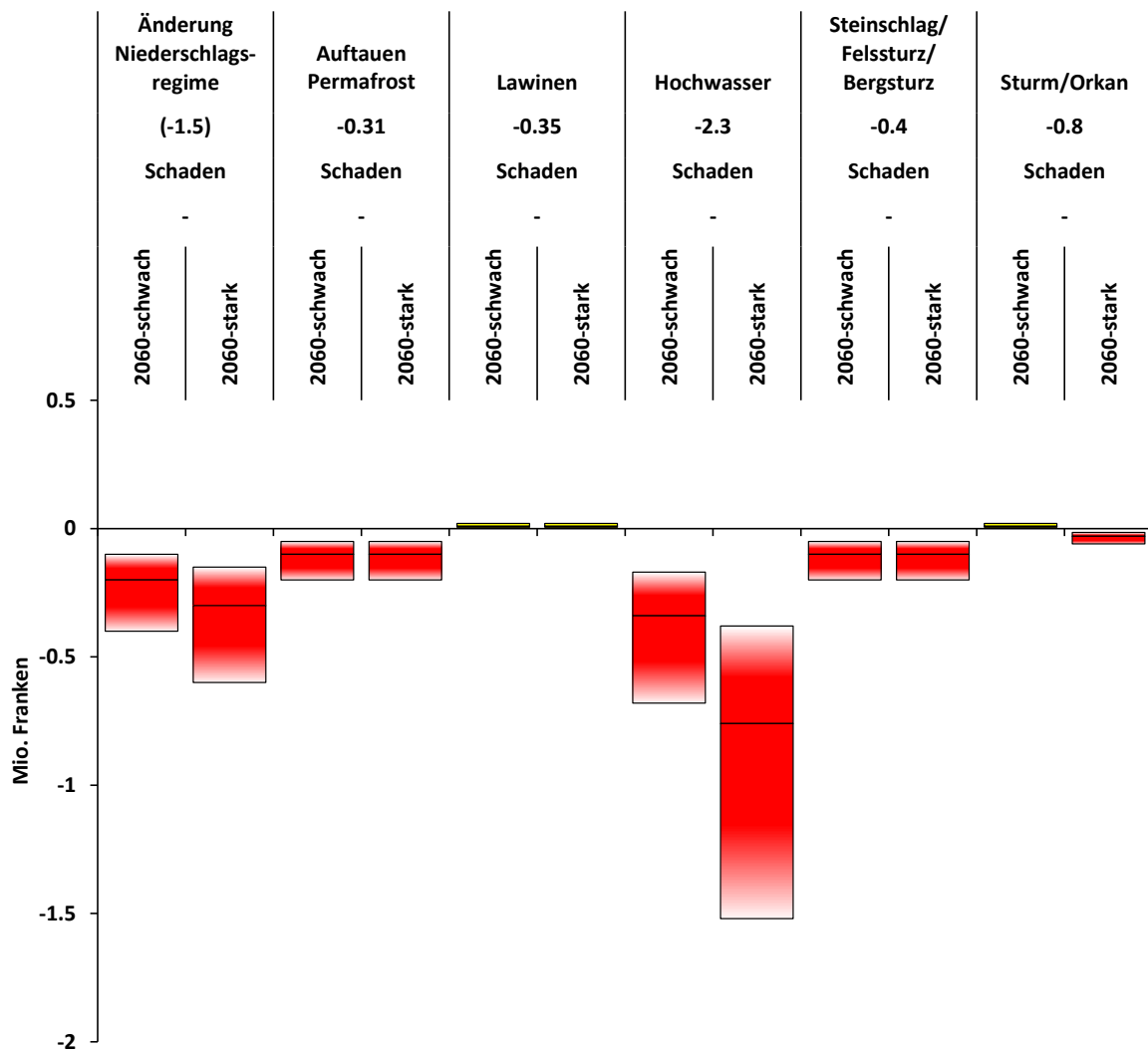


Abbildung 12. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für Infrastruktur/Gebäude. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken. Erläuterungen zu Ergebnissen siehe Tabellen 47 bis 52.

Änderung Niederschlagsregime

Die Änderung des Niederschlagsregimes ist für Gebäude und Infrastruktur insbesondere wegen des Elementarschadens Schneedruck (inkl. Schneerutsch) relevant. Schneedruckschäden sind vor allem in der Folge aussergewöhnlich intensiver (Nass-)Schneefälle zu erwarten. Schneerutsche wiederum werden in der Regel durch eine Warmphase verursacht, die zur Durchnässung der Schneeauflage und zum Verlust von deren Haftreibung auf ihrer Unterlage führt (IRV, 2011). Weil die Schadendaten von Schneedruck und Schneerutsch kaum auseinander gehalten werden können, werden sie gemeinsam und als Teil der Gefahr/des Effektes Änderung Niederschlagsregime analysiert.

In den vergangenen 25 Jahren wurden in Graubünden Schneedruckschäden in der Höhe von 40 Mio. Franken verursacht. Allein im schneereichen Winter 1999 wurden 15 Mio. Franken Schäden reklamiert (GVG, 2014a). Rund Dreiviertel der Schadensfälle und der Schadenssumme wurden in den Monaten Februar und März festgestellt, vornehmlich in montanen Lagen (Tallagen: 22 %, montane La-

gen: 50 %, subalpine Lagen: 29 %; GVG, 2014a). Schneedruck verursachte in den vergangenen 10 Jahren im Kanton über die Hälfte aller Schadensfälle und die zweithöchste Schadenssumme (33 %) an Gebäuden (GVG, 2014b).

Trotz der in den letzten Jahrzehnten beobachteten rückläufigen Anzahl Tage mit Schneebedeckung bzw. abnehmender Gesamtschneehöhe, lässt sich in den Daten aller Gebäudeversicherungen der Schweiz kein eindeutiger Rückgang der Schneedruckschäden erkennen (IRV, 2011). Durch die steigenden Lufttemperaturen könnte das Risiko für Schäden an Infrastruktur und Gebäuden mindestens kurzfristig leicht zunehmen (vgl. Abbildung 12).

Handlungsfelder:

- N10 Winterstürme
- N101 Schneedruck
- E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge

Auftauen Permafrost

Bauwerke über Permafrost bergen das Risiko, dass sie durch die Veränderungen des Untergrunds Schaden nehmen. Taut der Permafrost auf, so kann es zu Setzungen und Kriechbewegungen des Untergrunds kommen (Zenklusen Mutter et al., 2010). Gemäss dem Bundesamt für Verkehr sind im Kanton Graubünden acht touristisch genutzte Infrastrukturanlagen oder Gebäude bekannt, welche mutmasslich durch auftauenden Permafrost Schaden erlitten haben (BAV, 2014). Diese Anlagen stehen in Höhen zwischen 1800 und 2800 m ü. M., mehrheitlich in südlich orientierter Hanglage.

Das Risiko für Gebäude und Infrastrukturanlagen nimmt durch das Auftauen des Permafrosts erwartungsgemäss zu (vgl. Abbildung 12). Die Risiken sind allerdings zum grossen Teil hausgemacht. In früherer Zeit wurden Anlagen ohne Kenntnis der Bedeutung eines eishaltigen Untergrunds errichtet (vgl. Bommer et al., 2009). Unsachgemäss errichtete Konstruktionen beschleunigen zudem den Rückgang des Eises, da sie die Wärme in den Boden leiten. Moderne Bauten sind demgegenüber mehrheitlich so dimensioniert, dass sie auf die Bewegungen des Eises angepasst werden können (Bommer et al., 2009), wie etwa die Bergstation im österreichischen Ischgl (vgl. SRF, 2014).

Handlungsfelder:

- N9 Permanent aktive Rutschungen
- E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge

Lawinen

Gebäude und Infrastrukturanlagen werden immer wieder von Lawinen in Mitleidenschaft gezogen. Im Lawinenwinter 1999 waren die Schäden ausserordentlich hoch. Schweizweit wurden Gebäude (194 Mio. Franken), Mobilien (58 Mio. Franken), Strassen (63 Mio. Franken), Schiene (11 Mio. Franken), Schutzbauten (9 Mio. Franken) und das Elektrizitätsnetz (27 Mio. Franken) beeinträchtigt (SLF, 2000). Zudem wurden 44 touristische Transportanlagen beschädigt (Schadenssumme in Graubünden 3.3 Mio. Franken; Nöthiger, 2003). Die Rhätische Bahn verzeichnete 2 Mio. Schaden und 2 Mio. Franken Ertragsausfall (Nöthiger, 2003). Innerhalb der touristischen Infrastruktur dürften wohl Ferienhäuser am stärksten betroffen gewesen sein, denn diese befinden sich tendenziell an exponierteren Lagen als Wohnbauten (Nöthiger, 2003).

Die Schäden durch Lawinen an Gebäuden und an der Infrastruktur wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte immer seltener und weniger teuer (IRV, 2011). Dies ist weniger auf einen Rückgang an Lawinenabgängen zurückzuführen, sondern vielmehr darauf, dass Lawinenereignisse konsequent in der Zonenplanung berücksichtigt werden (IRV, 2011). Mit der Reduktion der Schneedecke dürfte das Risiko für Schäden durch Lawinen weiter zurückgehen (vgl. Abbildung 12).

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- N6 Lawinen
- N101 Schneedruck

- E4 Unterhalt/ Sicherheit Transportinfrastruktur
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge
- R3LR Naturgefahren

Hochwasser

Hochwasser richten immer wieder Schäden an Infrastruktur und Gebäuden an (vgl. Kapitel 3.3.9). Rund 45 % der Schadenssumme an Gebäuden geht auf Hochwasser zurück (GVG, 2014b), wobei die jährliche Schadenssumme beträchtlich variiert (23 Mio. Franken im Jahr 2005 gegenüber 114 000 Franken im Jahr 2007; GVG, 2014a). Die Schadenssumme durch Hochwasser (inkl. Murgang) liegt knapp dreimal höher als die Schadenssumme durch Lawinen.

Aufgrund der klimatischen Entwicklungen (vgl. Kapitel 3.2.2), ist zu erwarten, dass das Risiko für Schäden durch Hochwasser in Zukunft zunehmen wird (vgl. Abbildung 12). Zudem könnten Murgänge vermehrt dazu führen, dass die Infrastruktur der Wasserkraft beschädigt wird. Hochwasser könnten vermehrt auch Schäden anrichten, wenn im Siedlungsgebiet die anfallenden Wassermassen bei Starkniederschlägen nicht hinreichend abfließen können.

Handlungsfelder:

- W6 Kanalisation und Strassenentwässerung
- W101 Wasserkraft
- **N1 Hochwasser**
- E4 Unterhalt/Sicherheit Transportinfrastruktur
- R3UR Naturgefahren
- R4UR Energie/Wasser

Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Steinschlag, Fels- oder Bergsturzereignisse beschädigen hin und wieder Gebäude und Infrastruktur, vornehmlich ausserhalb des Siedlungsgebietes (vgl. 3.3.10). Aufgrund der klimatischen Entwicklungen und ihrer Effekte (Abschmelzen von Eis und Permafrost, mehr Niederschlag im Sommer, möglicherweise mehr Starkniederschlag) ist zu erwarten, dass das Risiko für Schäden zunehmen wird (vgl. Abbildung 12). Davon sind insbesondere Bauten an steilen Hängen in geologisch instabilen Gebieten betroffen, wohl am ehesten in subalpinen und alpinen Lagen.

Handlungsfelder:

- N4 Sturzprozesse
- N5 Schutzwald
- E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge
- R3LR Naturgefahren

Sturm/Orkan

Die Gebäudeversicherung Graubünden verzeichnete für die Jahre seit 1999 bis 2012 Schäden durch starke Winde im Umfang von über 11 Mio. Franken (GVG, 2014a). Die klimatischen Entwicklungen zeigen Anzeichen dafür, dass sich das Risiko durch Sturm/Orkan für Gebäude und Infrastruktur erhöht (vgl. Abbildung 12). Die zukünftige Entwicklung starker Winde ist allerdings eher ungewiss (vgl. Kapitel 3.3.12).

Handlungsfelder:

- N8 Konvektive Stürme, Hagel
- N10 Winterstürme
- E4 Unterhalt/Sicherheit Transportinfrastruktur
- T102 Infrastruktur im Hochgebirge
- R3LR Naturgefahren

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude vorstellbar sind, gehen in erster Linie von Starkniederschlägen und durch sie ausgelöste Naturgefahrenereignisse aus. Diese könnten grossflächig wichtige Bereiche des Versorgungsnetzes tref-

fen und beispielsweise zu einem Blackout ganzer Regionen führen, mit Auswirkungen auch auf das Ausland.

4.8.3 Fazit

Es ist anzunehmen, dass sich die Risiken für Infrastruktur und Gebäude in einem wärmeren Klima ändern. Eher zunehmen werden die Risiken aus Naturgefahren wie Hochwasser (inklusive Überschwemmung und Murgang), und Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Auch der auftauende Permafrost und die Last einer durchnässten Schneedecke dürften die Bauten vermehrt beeinträchtigen. Demgegenüber gehen die Risiken aus Lawinen erwartungsgemäss eher zurück, zumindest in tieferen Lagen. Die grössten Risiken erwarten wir wie bis anhin aus dem veränderten Hochwasserregime, auch weil die Siedlungsdichten entlang der Gewässer in den letzten drei Jahrzehnten erheblich zugenommen haben (KOHS, 2007). Dies unterstreicht, dass die Risiken von Gebäuden und Infrastruktur stark durch die Raumnutzung mitbestimmt werden. Klimawandelbedingte Extremereignisse könnten einen Blackout herbeiführen, und die (Strom-)Versorgung ganzer Regionen unterbrechen.

Grundsätzlich hält der Kanton die Risiken aus Naturgefahren klein. Die Verletzlichkeit von Anlagen wird herabgesetzt, indem Gefahrenzonen und Bauvorschriften erlassen werden. So besteht in der Gefahrenzone mit hoher Gefahr (Gefahrenzone 1=rote Gefahrenzone) ein faktisches Bauverbot und bereits bestehende Bauten und Anlagen dürfen nur eingeschränkt erneuert werden. Eine allfällige Wertvermehrung wird gegen das erhöhte Elementarschadenrisiko nicht versichert (GVG, 2014b). In Zukunft soll das Schadensrisiko auch über die Anzahl Bauten eingeschränkt werden. Der Bundesrat will den Bedarf bebauter Fläche bei 400 Quadratmetern pro Person stabilisieren (BAFU, 2012a). Damit wird ein Ansteigen der Risiken rein durch die Anzahl der Bauten eingeschränkt. Schliesslich gilt es anzumerken, dass Elementarschäden an Gebäuden jeweils im Bereich weniger Promille der Versicherungssumme liegen, 2013 beispielsweise betrug sie 0.05 Promille (GVG, 2014b).

4.9 Wasserwirtschaft

4.9.1 Zahlen und Fakten



Das Angebot an nutzbarem Wasser ist eng mit dem vorherrschenden Klima verknüpft. Art und Menge des Niederschlags bestimmen weitgehend den Wasserabfluss im Einzugsgebiet, während die Temperatur auch die Qualität des Wassers mitbestimmt. Abnehmende Niederschlagssummen im Sommer, zunehmende Niederschlagssummen im Winter oder die ansteigende Schneefallgrenze werden das Abflussregime von Bächen und Flüssen verändern. Dies wiederum wird die Nutzung des Wassers tangieren. Zu den Aufgaben der Wasserwirtschaft gehören die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung, der Hochwasserschutz, der Gewässerschutz, die Revitalisierungen und die Wasserkraft (Björnsen Gurung und Stähli, 2014). Das vorliegende Arbeitspapier behandelt die Infrastruktur der Wasserwirtschaft im Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude. Die Wasserkraft wird im Auswirkungsbereich Energie analysiert.

Werte und Verletzlichkeit

Graubünden verfügt über ein grosses Angebot an nutzbarem Wasser. Etwa 60 % des Trinkwassers stammen aus Quellen, der Rest wird aus dem Grundwasser gewonnen (ARE, 2009). Schweizweit entspricht die Wassergewinnung mit knapp 1 Mia. m³ rund 2 % der Niederschlagsmenge (Freiburghaus, 2012). Die Energie- und Wasserversorgung beschäftigt im Kanton Graubünden rund 1270 Personen (GKB und AWT, 2013). Für die Wasserversorgung sind die Gemeinden zuständig.

Die Verletzlichkeit der Wasserwirtschaft wird wesentlich durch das Wasserdargebot und die Nachfrage, respektive durch die Raumnutzung bestimmt. Auch strukturelle Aspekte der Wasserwirtschaft beeinflussen ihre Verletzlichkeit. Während das Dargebot vom Klima im Einzugsgebiet bestimmt wird, ergibt sich die Nachfrage aus der Nutzung im Bereich der Gewässer. Diese ist teilweise sehr umfangreich. Gemäss der Restwasserkarte Schweiz (BAFU, 2007) wird an 213 Stellen im Kanton Graubünden den Gewässern Wasser entnommen, fast ausschliesslich für die Wasserkraftnutzung. Nicht berücksichtigt sind Entnahmen, die nur wenige Tage oder Wochen pro Jahr in Betrieb sind (z. B. Füllen von Weihern, Brauchwasser für Camping, SAC-Hütten usw.), oder Entnahmen, bei welchen die Restwasserstrecke eingedolt ist. Entnahmen durch das Militär, oder auch mobile Entnahmen sind auf dieser Karte ebenfalls nicht eingetragen (BAFU, 2007). In 186 Fällen wird den Gewässern mehr als 50 % der durchschnittlichen Abflussmenge Q₃₄₇ entnommen (vgl. Kapitel 6.2).

Trends und Tendenzen

Die Wasserwirtschaft hat sich in den vergangenen Jahrzehnten verändert. Der Trinkwasserverbrauch geht seit den Achtzigerjahren zurück, obwohl die Bevölkerungszahl in der gleichen Zeit zugenommen hat (Björnsen Gurung und Stähli, 2014). Seit 2010 ging der Wasserverbrauch um knapp 3 % zurück, von 338 auf 325 Liter pro Person und Tag (Freiburghaus, 2012). Gleichzeitig sind die Nutzwassermengen in den meisten Gebieten der Schweiz angestiegen (Björnsen Gurung A, Stähli M. 2014).

Die grossen Wasserreserven bleiben der Schweiz auch in Zukunft erhalten, hingegen kann sich deren saisonale und räumliche Verteilung markant ändern, mit Auswirkungen auf ihre Bewirtschaftung. So können regional und zeitlich beschränkte Engpässe im Wasserdargebot die Trinkwasserversorgung beeinträchtigen (BAFU, 2012b). Druck auf das Wasser wird erwartungsgemäss auch von anderen Auswirkungsbereichen her kommen. So nimmt etwa der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft möglicherweise zu (vgl. Kapitel 4.4).

Herausforderungen des Klimawandels

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert im folgenden Kapitel, welche veränderten Risiken und Chancen sich durch die Gefahren und Effekte Änderung Niederschlagsregime, Trockenheit und Hochwasser ergeben. Das folgende Kapitel geht darauf näher ein.

4.9.2 Ergebnisse und Diskussion

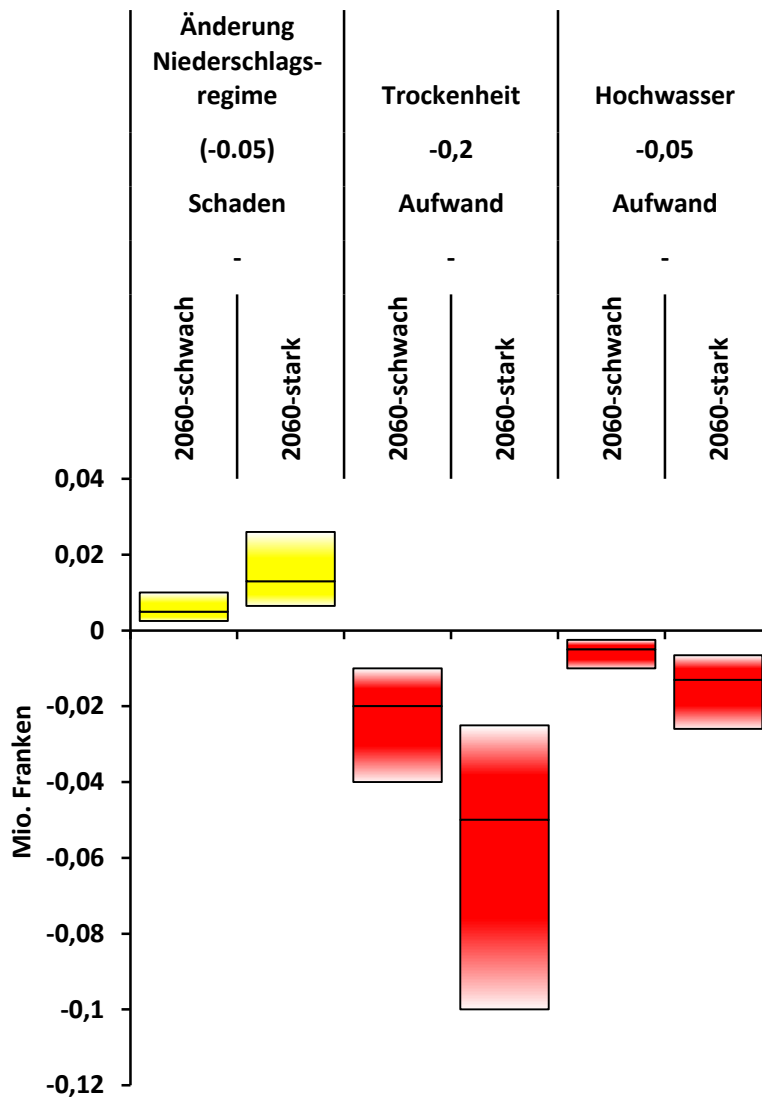


Abbildung 13. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Wasserwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 53 bis 55.

Änderung Niederschlagsregime: Trinkwasser

Die Änderung des Niederschlagsregimes wirkt sich letztlich auf die Wasserverfügbarkeit aus. Mehr Regen statt Schnee im Winter könnte in dieser Jahreszeit das Wasserdargebot erhöhen, mit Folgen etwa für Tourismusregionen der montanen und subalpinen Stufe. In Davos beispielsweise treffen minimaler Quellertrag und maximaler Verbrauch jahreszeitlich zusammen. So liegt der Quellertrag im Winter bei knapp 15 000 m³ Wasser pro Tag (15 Mio. Liter), der maximale Verbrauch erreicht an Spit-

zentagen 12 000 m³, insbesondere an schönen Wintertagen, wenn neben den rund 11 000 Einwohnerinnen und Einwohnern noch knapp dreimal so viele Gäste im Hochtal weilen. Im Sommer ist der Ertrag hingegen sehr viel höher und der Verbrauch geringer (Gemeinde Davos, 2011). Es ist zu erwarten, dass das ändernde Niederschlagsregime das Risiko von Wasserknappheit im Winter reduzieren wird (vgl. Abbildung 13).

Handlungsfelder:

- W1 Trinkwasser
- W6 Kanalisation und Strassenentwässerung
- L2 Starkniederschläge
- **L3 Trockenheit**

Änderung Niederschlagsregime: Abwasser

Langanhaltende Niederschläge können Kanalisationssysteme überlasten und dadurch Keller oder Strassen überfluten. Ob und wie Starkniederschläge häufiger werden ist nicht ganz klar (vgl. CH2011, 2011). Hingegen scheint die Infrastruktur im Abwasserbereich genügend ausgebaut. Eine Studie stellte fest, dass ein Überstau der Kanalisation in Zukunft nicht häufiger vorkommen wird als heute (Eawag, 2014). Diese Ergebnisse deuten gemäss den Autoren darauf hin, dass es mittelfristig (bis ins Jahre 2050) keinen Grund dafür gibt, die Dimensionierung der Kanalisation anzupassen.

Handlungsfelder:

- W6 Kanalisation und Strassenentwässerung
- L2 Starkniederschläge
- **L3 Trockenheit**

Trockenheit

Trockenheit stellt grundsätzlich die Menge und die Qualität des Wassers für die Versorgung in Frage. Während langanhaltender Trockenheit sinken die Grundwasserstände, und Quellen zeigen eine geringere Schüttung. Die Wasserknappheit könnte verschärft werden, wenn zusätzlich Gärten und landwirtschaftliche Flächen bewässert werden (ein Drittel des Wassers für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen stammt aus der Trinkwasserversorgung; vgl. Kapitel 4.4.1). Mit steigender Wassertemperatur nimmt die Aufnahmefähigkeit des Wassers für Sauerstoff ab. Dadurch steigt das Risiko für sauerstoffarme oder gar eisen- und manganreduzierende Verhältnisse an, wodurch die Aufbereitung des Trinkwassers aufwändiger wird (Diem, 2014). Der Hitzesommer 2003 hat gezeigt, dass in einzelnen Uferfiltrationssystemen (diese stellen schweizweit rund 30 % des Trinkwassers sicher) sauerstoffarme Verhältnisse auftraten (Diem, 2014). Es ist zu erwarten, dass mit zunehmenden Trockenphasen und ansteigender Mitteltemperatur diese Risiken der Wasserwirtschaft zunehmen werden (vgl. Abbildung 13).

Handlungsfelder:

- W1 Trinkwasser
- W4 Bewässerung
- W5 Restwasser
- W101 Wasserkraft
- **L3 Trockenheit**
- **B2 Arten und Lebensräume**
- G3M Über Lebensmittel/Wasser übertragene Infektionskrankheiten
- G3T Über Futtermittel/Wasser übertraene Infektionskrankheiten
- R4LR Energie/Wasser
- R7LR Ökosystemleistungen

Hochwasser

Hochwasserereignisse bergen Risiken auch für die Wasserwirtschaft. Bei Hochwasser kann beispielsweise belastetes Flusswasser die flussnahen Grundwasserfassungen zur Trinkwasseraufbereitung erreichen und die Versorgung gefährden (Huggenberger et al., 2014). Umgekehrt kann organisches Material mobilisiert und ins Flussbett eingetragen werden, was wiederum die mikrobielle Aktivität und die Sauerstoffzehrung im Wasser erhöht (Diem, 2014). Von diesen Risiken sind im Kanton Grau-

bünden insbesondere Siedlungsgebiete betroffen, deren Trinkwasserquellen im Überschwemmungsbereich liegen.

Aufgrund der klimatischen Entwicklungen, der Berechnungen und der Angaben aus der Literatur ist zu erwarten, dass das Risiko von Beeinträchtigungen der Wasserwirtschaft durch Hochwasser zunehmen wird (vgl. Abbildung 13).

Handlungsfelder:

- W1 Trinkwasser
- W6 Kanalisation und Strassenentwässerung
- W10 Auswaschung von Stoffen
- **N1 Hochwasser**
- G3M Über Lebensmittel/Wasser übertragene Infektionskrankheiten
- G3T Über Futtermittel/Wasser übertragene Infektionskrankheiten
- R3UR Naturgefahren

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft im Kanton Graubünden vorstellbar sind, werden wohl am ehesten durch langanhaltende Trockenheit ausgelöst. Diese könnte den Grundwasserspiegel senken und die davon abhängige Wasserversorgung gefährden.

4.9.3 Fazit

Der Klimawandel wird die Qualität und die Verfügbarkeit des Wassers im Kanton Graubünden verändern. Während erwartungsgemäss Sommertrockenheit und Hochwasserereignisse den Druck auf die Wasserwirtschaft erhöhen, lindert die Änderung des Niederschlagsregimes zusammen mit der steigenden Nullgradgrenze die heutige Wasserknappheit im Winterhalbjahr. Als Extremereignisse sind grossflächige Einbussen in der Qualität und der Verfügbarkeit des Trinkwassers im Sommer vorstellbar, als Folge von langanhaltender Trockenheit.

Wie in anderen Auswirkungsbereichen (Infrastruktur/Gebäude, Biodiversität) gilt auch hier, dass die Verletzlichkeit der Wasserwirtschaft stark durch die Raumnutzung mitbestimmt wird. So zeigen Modellsimulationen, dass die Landnutzung die Stoffeinträge in die Flüsse wesentlich stärker beeinflusst als der Klimawandel, und dass umgekehrt die zukünftige Wasserqualität überwiegend durch direkte menschliche Einflussnahme zu steuern ist (Stamm et al. 2014). Durch den wachsenden Raumbedarf von Siedlungen, Verkehrswegen und Industrie fallen immer mehr Flächen für die Trinkwassergewinnung aus Grundwasservorkommen weg, weil die nötige Sicherheit für die erforderliche Wasserqualität nicht gewährleistet werden kann (Lanz et al., 2014). Auch scheinen die strukturellen Gegebenheiten der Wasserwirtschaft nicht ganz ideal. Die Wasserwirtschaft zeichnet sich durch eine komplexe Aufgabenteilung zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden aus (Schmid et al., 2014). Traditionelle Nutzungsrechte z. B. in der Bewässerungslandwirtschaft erhöhen die Komplexität der Aufgabenteilung (Schmid et al., 2014). Im Hinblick auf zunehmende Trockenphasen im Sommer gilt es, Prioritäten für den Wassergebrauch zu setzen. Aufgrund des relativen Wasserreichtums im Kanton, kombiniert mit einem rückläufigen Konsum an Trinkwasser (SVGW, 2011) scheint dieses Problem eingrenzbar.

4.10 Biodiversität

4.10.1 Zahlen und Fakten



Biodiversität bezeichnet die Vielfalt der Pflanzen- und Tierarten, deren genetische Variabilität und die Vielfalt der Lebensräume. Die Biodiversität ist die Grundlage unserer Existenz. Sie ist stark von den klimatischen Bedingungen am Standort abhängig. Veränderungen des Klimas führen früher oder später auch Veränderungen der Biodiversität herbei.

Werte und Verletzlichkeit

Der Kanton Graubünden zeichnet sich durch eine grosse Vielfalt an Lebensräumen aus, welche vom vergletscherten Hochgebirge bis zu trockenwarmen Steppenrasen reichen. Generell besitzen die Alpen eine herausragende Bedeutung für die Biodiversität in der Schweiz. Der grösste Teil der national bedeutenden Moore, Auen sowie der Trockenwiesen und Weiden liegen im Alpenraum. Wildnis ist in der Schweiz fast nur noch in den Alpen zu finden (Klaus und Pauli, 2013).

Kanton und Gemeinden sorgen für die Erhaltung und den Schutz der Tier- und Pflanzenwelt sowie von deren Lebensräumen (Kantonsverfassung). Sechzehn Gebiete des Kantons sind im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung BLN aufgeführt, so etwa die Tomalandschaft bei Domat/Ems oder das Kesch-Ducan-Gebiet (BAFU, 2014a).

Schweizweit sind rund 40 000 Tierarten, 3000 Arten von Farn- und Blütenpflanzen, 1100 Moosarten, 1700 Flechtenarten, sowie 5000 Arten von Grosspilzen bekannt (ALN, 2010). Diese Arten sind in unterschiedlicher Zahl über die verschiedenen Lebensräume verteilt. Etwa 20 000 (oder 40 %) der bisher bekannten 49 000 Tier-, Pilz- und Pflanzenarten der Schweiz sind an den Wald oder an den Waldrand gebunden (AWN, 2010). In Graubünden sind zahlreiche Organismengruppen mit überdurchschnittlich vielen Arten vertreten. So wurden hier bisher 25 der 30 in der Schweiz vorkommenden Fledermausarten nachgewiesen (Kanton Graubünden, 2015). Auch einige sehr seltene Pflanzenarten kommen schweizweit ausschliesslich in Graubünden vor. Das Ladinier Felsenblümchen (*Draba ladina*) z. B. findet sich nur auf einigen wenigen Berggipfeln im Unterengadin. Eine grosse Vielfalt an Lebewesen weisen die Auenbiotope auf, die allerdings nur gerade 1 % der Kantonsfläche ausmachen. Mehr als die Hälfte aller Pflanzenarten Graubündens und viele Tiere kommen ausschliesslich in diesen Lebensräumen vor (WWF, 2014a).

Schweizweit werden rund 800 gebietsfremde Tier- oder Pflanzenarten gezählt (sogenannte Neobioten). Gut 10 % von ihnen vermehren sich in ihren unnatürlichen Lebensräumen stark und verdrängen dadurch einheimische Arten (pro natura, 2013). Unter diesen invasiven Neobioten sind auch gesundheitsgefährdende Pflanzen wie etwa die Ambrosia, welche in Graubünden bereits an über 100 Standorten entdeckt wurde (ANU, 2013).

Die Biodiversität ist für die Prosperität der Schweiz und des Kantons Graubünden existenziell. Zu ihren Nutzen zählen etwa die Bereitstellung von Holz und Wasser, der Schutz vor Naturgefahren durch den Wald, oder die Bodenbildung durch Kleinlebewesen und die Bestäubung von Blüten durch Insekten. Besonders wichtig ist der Beitrag der Biodiversität an das Landschaftsbild, welches einen hohen (Erholungs-)Wert für den Tourismus hat (Klaus und Pauli, 2013).

Die Verletzlichkeit der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel hängt von der Geschwindigkeit des Wandels und der Reaktionsfähigkeit der Organismen ab. Letztere hängt auch von der bestehenden genetischen Vielfalt und dem verfügbaren Raum ab (vgl. weiter unten).

Trends und Tendenzen

Der Druck auf die Biodiversität steigt weiter an. Nutzungsintensivierung und Meliorationen setzen der Biodiversität des Kulturlandes zu (Klaus und Pauli, 2013) und auch die Feuchtgebiete sind nach wie vor in Bedrängnis. Einige Gruppen von Organismen in nassen und feuchten Lebensräumen weisen einen besonders hohen Anteil an gefährdeten Arten auf (BAFU, 2011). Die invasiven Neobioten breiten sich weiter aus. Entgegen den Entwicklungen im Kulturland und in den Feuchtgebieten hat die ökologische Qualität des Waldes seit den 1980er-Jahren zugenommen (Fischer et al., 2014).

Herausforderungen des Klimawandels

Das vorliegende Arbeitspapier analysiert im folgenden Kapitel, welche veränderten Risiken und Chancen sich durch die Gefahren und Effekte Veränderung Mitteltemperatur, Frost, Änderung Niederschlagsregime, Trockenheit, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher, Auftauen Permafrost, Hochwasser sowie Waldbrand für die Biodiversität in Graubünden ergeben (vgl. Abbildung 14).

Die Analyse der Risiken und Chancen für die Biodiversität geht davon aus, dass klimawandelbedingten Risiken der einen Organismen oder Lebensräume immer auch entsprechenden Chancen anderer Organismen oder Lebensräume gegenüber stehen.

4.10.2 Ergebnisse und Diskussion

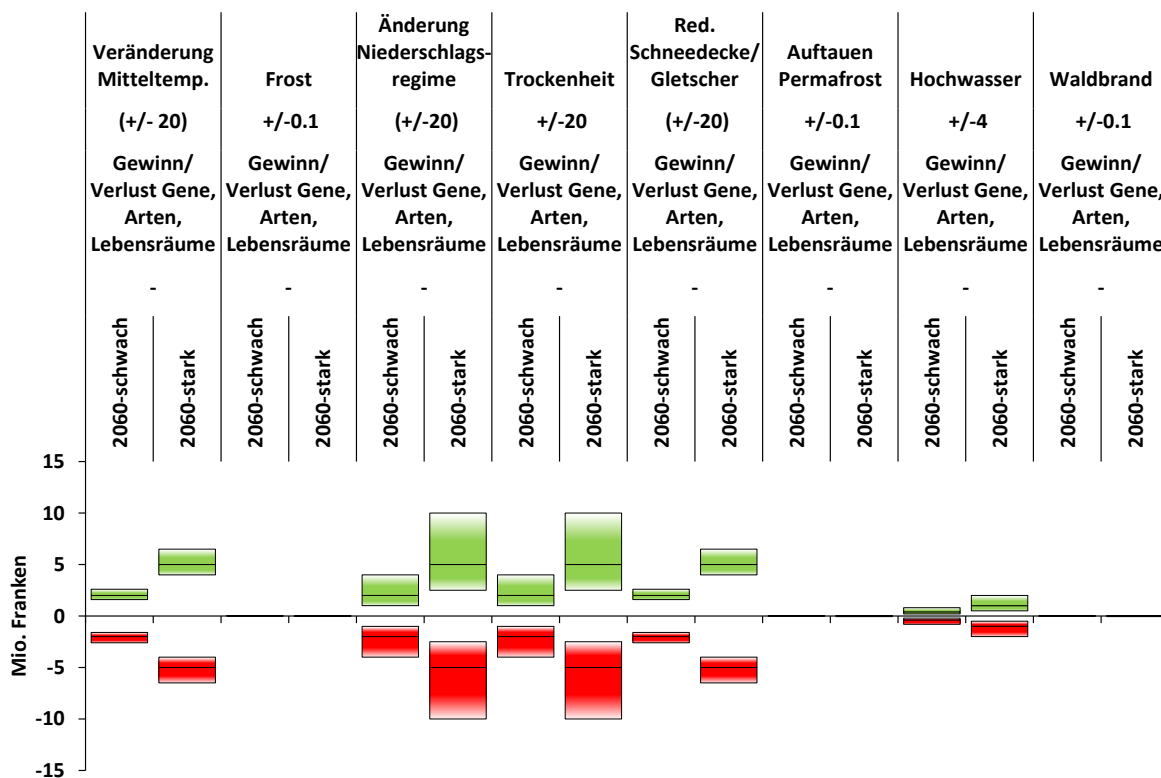


Abbildung 14. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Biodiversität. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabelle 56.

Veränderungen Mitteltemperatur: Landlebensräume

Die zunehmende Wärme bringt Chancen für wärmeliebende Organismen und gleichzeitig Risiken für weniger konkurrenzkräftige und eher kälteliebende Arten (vgl. Abbildung 14). Bereits heute wird beobachtet, dass sich die Artenvielfalt im Kanton Graubünden unter dem Einfluss des Klimawandels verändert. So etwa die Flora der Berggipfel. Die Artenzahl der Gefässpflanzen, welche diese höchst-

gelegenen Lebensräume im Kanton besiedeln, hat sich in den vergangenen rund 100 Jahren um 42 % vergrößert und zwar durchschnittlich von 24 auf 34 Arten pro Gipfel, also um ungefähr eine Art pro Gipfel und Jahrzehnt (Wipf et al., 2014). Der Trend, dass hochalpine Lebensräume von immer mehr Pflanzenarten besiedelt werden, wird von zahlreichen anderen Studien und an Standorten rund um den Globus beobachtet (vgl. Frei et al., 2013). Aufgrund weiterhin steigender Mitteltemperaturen ist zu erwarten, dass sich die Existenzgrenzen vieler Arten weiter in Richtung ehemals kühlerer Standorte verschieben werden.

Eine Ausweitung des Verbreitungsgebietes wird auch bei den invasiven Neophyten beobachtet. So haben gemäss Experten des Kantons verschiedene Arten in den vergangenen Jahren eine Phase exponentieller Vermehrung erreicht. Zu ihnen zählt etwa das Südafrikanische schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*) im Churer Rheintal, der Japanische Staudenknöterich (*Fallopia japonica*) mit Vorkommen im ganzen Kantonsgebiet, der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) in den Südtälern und im Churer Rheintal oder die Lupine (*Lupinus polyphyllus*) besonders in höheren Lagen. Die Lupine war und ist eine beliebte Gartenpflanze. Sie stammt aus Nordamerika.

Durch den Klimawandel werden erwartungsgemäss die kältesten Lebensräume im Kanton immer kleiner. Diese Annahme geht davon aus, dass die Erdoberfläche mit zunehmender Höhe kleiner wird. Inwieweit der Landgewinn durch die schmelzenden Gletscher dies ausgleichen kann, bleibt bis anhin ungewiss. Die Wahrscheinlichkeit dass hochalpine Arten in Graubünden durch die zunehmende Wärme mittelfristig in ihrer Existenz gefährdet sind, wird als sehr klein eingestuft. Allenfalls sind Reliktstandorte alpiner Arten in tieferen Lagen bedroht.

Handlungsfelder:

- L1 Standorteignung
- **L5 Schadorganismen**
- L101, F101, B101 Aufsteigen Baum- und Waldgrenze
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B3 Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten
- B4 Biotopverbund und Vernetzung
- B5 Ökosystemleistungen
- G1M Über Vektoren übertragene Krankheiten
- G1T Über Vektoren übertragene Krankheiten
- G4M Pollenallergien

Veränderungen Mitteltemperatur: Gewässerlebensräume

Analog zur Lufttemperatur nimmt auch die Temperatur des Wassers zu. Wärmeres Wasser fördert beispielsweise die Entwicklung von Cyanobakterien. Eine bekannte Art ist die Burgunderblutalge, deren Toxine die Wasserqualität beeinträchtigen können (Kipfer und Livingstone, 2008). Wärmere Seen werden sich in der Folge möglicherweise weniger häufig und weniger stark durchmischen. Auf Seen, die im Winter normalerweise eisbedeckt sind, trifft das Gegenteil zu. Sie frieren später zu und tauen immer früher auf, wodurch sie sich intensiver durchmischen. Dies hat tendenziell einen positiven Einfluss auf die Belüftung des Tiefenwassers (Kipfer und Livingstone, 2008).

Auch Flüsse werden wärmer. Der Rhein bei Basel ist seit 1954 um mehr als 2 °C wärmer geworden (Jakob et al., 2002). Die erhöhten Temperaturen beeinflussen die chemischen und biologischen Prozesse (Stamm et al., 2014). Im wärmeren Wasser ist die Sauerstoffkonzentration geringer, was Krankheiten fördern kann, etwa Fischkrankheiten wie die proliferative Nierenkrankheit (BAFU, 2012d). Die bisherige Erwärmung der Fliessgewässer führte offenbar bereits zu einem Rückzug der Forellen in 100 bis 200 m höhere Regionen (Hari et al. 2006). In hochalpinen Gewässern scheint sich noch keine klimabedingte Veränderung abzuzeichnen. Die Lebewesen in den Macunseen im Nationalpark zeigen eine hohe jährliche Variabilität, aber keine Veränderungen, welche dem Klimawandel zugewiesen werden könnten (Dalmard, 2011).

Handlungsfelder:

- **W5 Restwasser**
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B4 Biotopverbund/ Vernetzung
- **GM3 Über Lebensmittel/ Wasser übertragene Infektionskrankheiten**
- **GT3 Über Futtermittel/ Wasser übertragene Infektionskrankheiten**

Frost

Kalte Temperaturen markieren für zahlreiche Organismen eine Wachstums- oder gar Existenzgrenze. Solche Grenzen sind im Gebirge in charakteristischer Abfolge leicht zu erkennen: die Waldgrenze, die Grenze der Zwergsträucher oder die obere Grenze alpiner Rasen. Im Bereich der Zwergsträucher finden sich Vegetationsgesellschaften, welche ausgeprägt frosthart sind. Es ist dies die Windflechten-Azaleenheide, deren Vorkommen wind- und frostextreme Standorte kennzeichnen. Typische Vertreterinnen dieser Standorte sind die namensgebende Alpenazalee oder das Isländisch Moos, eine Flechte. Ihre Frosthärte macht sie am Standort konkurrenzkräftig. In tiefen Lagen führt Frost während der Vegetationszeit dazu, dass die Photosynthese reduziert wird, was über mehrere Tage bis Wochen anhalten kann (Schönenberger und Frei, 1988). Frost kann auch für Insekten schädlich sein. Dies wird immer wieder am Beispiel des Lärchenwicklers beobachtet (Theurillat und Guisan, 2001), dessen Frass die Lärchen frühzeitig in ein herbstliches Gelb tauchen.

Die Klimaszenarien projizieren einen erheblichen Rückgang der Frostereignisse, wodurch sich die Existenzgrenze zahlreicher Arten in Richtung grösserer Höhen verschieben wird, analog zur ansteigenden Mitteltemperatur. Dadurch ändern sich erwartungsgemäss auch die Konkurrenzverhältnisse zwischen unterschiedlich sensitiven Arten (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- **B3 Ausbreitung invasiver, gebietsfremder Arten**
- L5 Schadorganismen
- **L101, F101, B101 Baum- und Waldgrenze**
- F3 Klimasensitive Standorte

Änderung Niederschlagsregime

Niederschlag und Verdunstung bestimmen den Wasserhaushalt der Feuchtgebiete, insbesondere der Hochmoore. Das Wasser der Hochmoore stammt ausschliesslich aus dem Niederschlag. Im Kanton Graubünden beherbergen die Feuchtgebiete knapp 70 gefährdete Arten, unter ihnen etwa den Sontentau (ANU, 2014b). Diese Art kann als fleischfressende Pflanze tierische Nährstoffe nutzen und findet so im äusserst nährstoffarmen Milieu ein Auskommen. Wie viele andere Hochmoorarten ist sie streng geschützt, insbesondere weil ihre Lebensräume heute selten sind.

Die Klimaszenarien (weniger Niederschlag im Sommer, wärmere Temperaturen, mehr und längere Trockenphasen) lassen vermuten, dass Hochmoore durch den Klimawandel verändert werden. Bereits heute scheinen sie rascher zu vertrocknen und sie verzeichnen ein langsames Torfmooswachstum und raschere Torfmineralisation (ANU, 2014c). Modellrechnungen zeigen, dass 85 % der Hochmoore durch den Klimawandel bedroht sind (Niedermair et al., 2011). Aufgrund der prognostizierten Entwicklungen ist zu erwarten, dass die Organismen der Hochmoore einem erheblichen Risiko ausgesetzt sind, welches ihre Vorkommen weiter bedroht (vgl. Abbildung 14). Davon könnten Organismen und Arten profitieren, welche mehr an Trockenheit angepasst sind.

Handlungsfelder:

- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B4 Biotopverbund und Vernetzung

Trockenheit: Landlebensräume

Anhaltende Trockenheit verringert die Wasserverfügbarkeit. Inwiefern die prognostizierten Trockenphasen die Anzahl und auch die Qualität der Lebensräume und die Vorkommen ihrer Bewohner verändern ist nicht klar. So wurde z. B. festgestellt, dass trockene Phasen im Mai/Juni den Blüherfolg von Orchideen erheblich mindern (ANU, 2014c). Demgegenüber ist vorstellbar, dass sich neue Trockenstandorte entwickeln und angepassten Arten einen neuen Lebensraum bieten.

Der Kanton zählt knapp 60 Tier- und Pflanzenarten, welche auf trockene Wiesen als Lebensraum angewiesen sind (ANU, 2014b). Unter ihnen ist die bedrohte Wanzen-Orchis, welche noch an wenigen Standorten im Bündner Rheintal und im Misox vorkommt. Genauso wie bei den Feuchtgebieten sind auch bei den Trockenstandorten Veränderungen im Wasserhaushalt zu erwarten, v.a. an tiefer gelegenen Standorten (Abbildung 14). Für die Biodiversität der Landlebensräume ist eine veränderte Konkurrenzsituation und folglich veränderte Artenmuster zu erwarten.

Handlungsfelder:

- **W4 Bewässerung**
- **F2 Nadelholzreiche Bestände in tiefen Lagen**
- F3 Klimasensitive Standorte
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B4 Biotopverbund und Vernetzung

Trockenheit: Gewässer

Während Trockenheit für Landlebensräume ein Phänomen des Sommers darstellt, ist Trockenheit in Gewässern (hydrologische Trockenheit) das ganze Jahr über möglich. Trockenheit verringert nicht nur die Wasserverfügbarkeit, sondern erhöht die Temperatur und beeinträchtigt die Qualität des verbleibenden Wassers. Während Trockenperioden nehmen erwartungsgemäss die Ausdehnung und Anzahl der Flachwasser-Habitats zu. Dies würde sich gerade für die im Frühjahr in Gebirgsflüssen geschlüpften Jungfische günstig auswirken (Badoux et al., 2014).

Aufgrund der prognostizierten Entwicklungen (weniger Niederschlag im Sommer, länger anhaltende Trockenphasen) ist zu erwarten, dass die Trockenheit für einige Gewässerorganismen ein erhebliches Risiko darstellt, welches ihre Vorkommen bedroht. An Niedrigwasserbedingungen angepasste Arten könnten demgegenüber von zunehmender Trockenheit profitieren (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- W1 Trinkwasser
- **W4 Bewässerung**
- **W5 Restwasser**
- **W101 Wasserkraft**
- **L3 Trockenheit**
- T101 Sommerfrische
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B4 Biotopverbund / Vernetzung
- G3T Über Futtermittel/Wasser übertragene Infektionskrankheiten

Reduktion Schneedecke

Die winterliche Schneedecke hat für die Organismen in ihrem Lebensraum ganz unterschiedliche Bedeutung. Für die einen ist sie Last und Hindernis, für andere isolierender Schutz, Tarnung, Wasserspeicher oder auch Lebensraum. Bäume brechen unter der Last einer schweren Schneedecke, Hirsche verlieren viel Energie, wenn sie durch den hohen Schnee waten. Der Schneehase ist in der verschneiten Umgebung gut getarnt und frostempfindliche Pflanzen sind unter der Schneedecke vor kalten Lufttemperaturen geschützt. Diese Isolation nutzen etwa die sogenannten Schneetälchen-Gesellschaften, ein Verbund verschiedener Pflanzenarten, welche an früh eingeschneiten und spät ausapernden Standorten ihren bevorzugten Lebensraum finden. Zu ihnen zählt die Krautweide, ein nur wenige Zentimeter grosser Baum.

Die Reduktion der Schneedecke birgt eher Risiken für Organismen, welche etwa auf den Kälteschutz oder die Tarnung durch den Schnee angewiesen sind und sie birgt Chancen für diejenigen Organismen, für welche der Schnee nur Last und Hindernis bedeuten (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- **T103 Wintersport**
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**

Abschmelzen Gletscher

Im Bereich der Gletscher kommen einige sehr spezialisierte Organismen vor, welche vornehmlich die periodisch auftauende Schneedecke über dem Eis besiedeln. Zu diesen Organismen zählen beispielsweise Schneeealgen und Gletscherflöhe. Erwartungsgemäss werden ihre Verbreitung und ihre jahreszeitliche Aktivität in Zukunft ändern (vgl. Jones et al., 2001). Das Abschmelzen der Gletscher ermöglicht gleichzeitig zahlreichen anderen Organismen neu ein Auskommen. Im Vorfeld schmelzender Gletscher entwickeln sich sandige und nährstoffarme Standorte, welche nach kurzer Zeit artenreiche Lebensgemeinschaften einen neuen Lebensraum bieten. Am *Vadret da Morteratsch* bei Pontresina beispielsweise stellen sich bereits zwei Jahre nach dem Rückzug des Eises die ersten Pflanzenarten ein. Wenige Jahre später ist der Boden bereits zu 50 % mit Pflanzen bedeckt, wobei sich rasch eine Vielzahl an Arten ansiedelt (Burga, 2013). Das Abschmelzen der Gletscher wird auch Übertiefungen freilegen, in welchen neue Seen entstehen können (Linsbauer et al., 2012). Dieser Prozess konnte in den letzten Jahren bereits bei zahlreichen Gletschern beobachtet werden, so etwa am Jörigletscher am Fuss des Flüela Wisshorns. An Stelle des Eises sind dort seit den 1920er Jahren zehn neue Seen entstanden, in welchen sich eine vielfältige Lebensgemeinschaft entwickelt hat (Hanselmann, 1997). Die Biodiversität gewinnt und verliert durch den Rückgang der Gletscher (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- N7 Spontane Rutschungen
- **L101, F101, B101 Ansteigen Baum- und Waldgrenze**
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- B5 Ökosystemleistungen
- **R2LR Tourismus**

Auftauen Permafrost

Der Permafrost im Untergrund hat mehr oder weniger Einfluss auf den Boden und den Bewuchs der darüber liegenden Auftauschicht. Stark von der Dynamik des Permafrosts beeinflusst sind die Fließgeschwindigkeiten der sogenannten Erdströme und der Blockgletscher, beides Phänomene in Permafrostgebieten. Die tropfenförmigen Erdströme entstehen, wenn die oberste Bodenschicht auftaut, sich mit Wasser sättigt und auf dem gefrorenen Untergrund talwärts kriecht (Gamper, 1983). Aktive Erdströme bewegen sich je nach Hangneigung einige Zentimeter pro Jahr talwärts (Nationalpark, 2014). Die Fließgeschwindigkeit der Erdströme lassen sich offenbar durch den Zeitpunkt des Einschneiens erklären. Liegt bereits früh im Herbst Schnee, so kann sich im Oberboden kaum Eis bilden und entsprechend fliesst dieser im darauffolgenden Frühjahr kaum ab. Generell fließen Bereiche ohne Bewuchs rascher als solche mit Bewuchs (Gamper, 1983). Oft sind nur die Ränder dieser Erdströme mit Vegetation bedeckt und zwar typischerweise mit Silberwurz oder der Polster-Segge. Im Gebiet des Munt Chavagl und des Munt Buffalora sind die Erdströme besonders eindrücklich.

Inwieweit sich die Permafrostphänomene wie Erdströme oder Blockgletscher und die sie bewohnenden Organismen durch den Klimawandel verändern werden ist ungewiss. Die höheren Temperaturen im Sommer lassen einen Rückgang spezialisierter Arten und typischer Phänomene des Permafrosts vermuten. Demgegenüber könnten ein Rückgang der Schneedecke und nur wenig wärmere Wintertemperaturen die Phänomene eher fördern (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**

Hochwasser

Hochwasser mobilisieren Sedimente, verändern die Wasserführung, vertiefen das Flussbett und schwemmen Feinpartikel ab (Bjørnsen Gurung und Stähli, 2014). Die Erosion des Gerinnes etwa wirkt sich gemäss Badoux et al. (2014) negativ auf die Laichaktivität von Bachforellen in Gebirgsflüssen aus. Diese Fischart vergräbt ihre Brut nur wenige Zentimeter tief im Kies. Gemäss Klimamodellen werden in Zukunft Hochwasser tendenziell öfters und stärker auftreten und die Gerinnesohle und damit die Laichgruben der Bachforelle vermehrt erodieren (Badoux et al., 2014). Für andere Organismen ist die Erosion des Gerinnes von Vorteil. Erodirtes Material wird an anderer Stelle frisch aufgeschüttet und schafft dadurch neue Lebensräume. Davon könnte etwa das Schwarzbraune Zypergras profitieren, ein gefährdetes Riedgras. Werden ihre Standorte episodisch überschwemmt, so werden konkurrenzstärkere Büsche wie die Weide zurückgebunden, was vorteilhaft ist für das Zypergras, welches bis höchstens 20 cm hoch wird (Infoflora, 2014).

Aufgrund der prognostizierten klimatischen Entwicklungen ist zu erwarten, dass sich für Organismen, welche rasch neue Lebensräume im und ums Wasser besiedeln neue Chancen ergeben, während für Organismen, welche auf stabile Lebensräume angewiesen sind, das Risiko einer Gefährdung ihrer Vorkommen steigt.

Handlungsfelder:

- **N1 Hochwasser**
- **N3 Wildbachprozesse**
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**

Waldbrand

Waldbrände verändern die Artenvielfalt und den Kohlenstoffhaushalt des Bodens (WSL, 2014a). Baumarten wie Ulme, Linde, Esche, Ahorn, Weisstanne oder Arve scheinen durch Feuer zurückgebunden zu werden. Umgekehrt sind Buchen oder Eichen eher feuerresistent (Conedera und Tinner, 2010). Feuerangepasste Pflanzengesellschaften wie sie im Mittelmeerraum auftreten, kommen bei uns hingegen nicht vor. Mehr respektive intensivere Waldbrände werden erwartungsgemäss dazu führen, dass vermehrt lichtliebende Arten und die typische *post-fire*-Vegetation mehr und häufiger passende Lebensräume finden werden. Dadurch würde regional die Artenvielfalt eher zunehmen, auf Kosten der weniger feuerresistenten und langlebigen Organismen, insbesondere der Waldbäume (vgl. Abbildung 14).

Handlungsfelder:

- N5 Schutzwald
- B1 Genpool
- **B2 Lebensräume und Arten**
- F3 Klimasensitive Waldstandorte
- R3LR Naturgefahren

Extremereignisse

Klimawandelbedingte Extremereignisse, welche für den Auswirkungsbereich Biodiversität im Kanton Graubünden vorstellbar sind, werden wohl am ehesten durch die Änderung des Niederschlagsregimes und durch Trockenheit ausgelöst und betreffen die bereits heute arg bedrängten Organismen und Lebensräume der Feuchtgebiete, insbesondere der Hochmoore.

4.10.3 Fazit

Der Klimawandel wird die Biodiversität im Kanton Graubünden weiter verändern. Die verschiedenen Organismen reagieren erwartungsgemäss sehr unterschiedlich auf eine Veränderung ihres Lebensraums: Sie ändern ihren Stoffwechsel oder ihre Gestalt, sie verschieben ihre Vorkommen in geeignetere Lebensräume oder sie passen sich genetisch an die neue Umgebung an. Im Extremfall erlöschen Populationen oder gar Arten. An einem bestimmten Standort ergibt sich daraus eine Veränderung des Artenspektrums und seiner genetischen Konstitution. Die oben ausgeführten Risiken und Chan-

cen des Klimawandels zeigen, dass klimainduzierte Risiken für die einen Lebewesen theoretisch zu Chancen für andere werden – sofern ausreichend Raum und Zeit verbleiben.

Ausreichend Raum ist deshalb Voraussetzung weil einerseits Vielfalt eng mit Flächengrösse verbunden ist. Die Artenvielfalt nimmt mit einer Vergrösserung der Fläche zu und mit einer Verkleinerung ab. Die Vernetzung von Räumen wiederum ist Voraussetzung dafür, dass sich die Biodiversität gegenüber Veränderungen, wie sie der Klimawandel mit sich bringt, reaktionsfähig ist (vgl. BAFU, 2012f). Stark isolierte Lebensräume beherbergen weniger Arten als gut vernetzte und die Vitalität der Populationen nimmt ab (MacArthur und Wilson, 1967). Die Reaktionsfähigkeit wird zusätzlich eingeschränkt, wenn die Veränderungen rascher ablaufen. Dies erklärt auch die Unterschiede in den Auswirkungen zwischen dem Szenario schwach und dem Szenario stark.

Einzelne Arten sind durch die Folgen des Klimawandels in ihrer Existenz bedroht, in erster Linie jene der Gewässer und Feuchtgebiete. Die Risiken für die Biodiversität werden jedoch weniger durch den Klimawandel sondern vielmehr durch den für sie verfügbaren Raum bestimmt. Die Ausdehnung des Siedlungsraums und die intensivierete Nutzung der Kulturlandschaft haben seit der Mitte des vorletzten Jahrhunderts die Natur in grossem Stil zurückgedrängt (Ewald und Klaus, 2009). So sind seither schweizweit 90 % aller Trockenrasen, Feuchtgebiete und Auenlandschaften verschwunden. Im Rahmen der Erfolgskontrolle Moorschutz wurde festgestellt, dass allein zwischen den Kontrollperioden 1997/2001 und 2002/2006 über ein Viertel der Moore deutlich trockener geworden ist und die Nährstoffversorgung zugenommen hat (Fischer et al., 2014). Dadurch ist die Vielfalt auf genetischer Ebene, auf Ebene der Arten und der Landschaften dezimiert worden.

Intakte Ökosysteme erbringen zahlreiche Leistungen, von denen die gesamte Gesellschaft profitiert. Doch viele Ökosysteme sind bereits dermassen geschädigt, dass ihre Fähigkeit, wertvolle und lebenswichtige Leistungen für die Menschen bereitzustellen, drastisch eingeschränkt ist (Fischer et al., 2014). Eine Verschlechterung des Zustands der Biodiversität führt zu einer Abnahme ihrer Leistungen und somit zu einer Gefährdung einer nachhaltigen Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft (BAFU, 2012f).

5 Rahmenbedingungen und Ziele für die Anpassung an den Klimawandel

Ein passender Umgang mit den Risiken und Chancen des Klimawandels muss sich im Rahmen bestehender Ansprüche an Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft abspielen. Er muss zudem Gesetze und Regelungen beachten. In diesem Kapitel werden die wichtigsten dieser Rahmenbedingungen für die Anpassung an den Klimawandel nochmals aufgegriffen. Die kurzen Ausführungen zu den bestehenden gesetzlichen Regelungen sollen helfen zu prüfen, ob die Rahmenbedingungen ausreichend sind oder ob auch diesbezüglich Anpassungen nötig sind. Die aufgeführten gesetzlichen Regelungen sind vorwiegend kantonal. Sie bilden wichtige Grundlagen für die Formulierung der Klimastrategie des Kantons Graubünden (vgl. ANU, 2015c).

5.1 Bestehende gesetzliche Regelungen

Gesundheit

Kanton und Gemeinden sorgen für eine zweckmässige, wirtschaftliche und ausreichende medizinische Versorgung und Pflege. Sie fördern und unterstützen die Gesundheitsvorsorge (Art. 87 Kantonsverfassung).

Landwirtschaft

Der Kanton fördert in Ergänzung des Bundesrechts mit kantonalen Massnahmen unter anderem die tiergerechte sowie umweltschonende Bewirtschaftung (Art. 11 Landwirtschaftsgesetz).

Wald (Naturgefahren)

Der Kanton mit Unterstützung des Bundes sorgt dafür, dass der Wald qualitativ und quantitativ erhalten bleibt, die Waldfunktionen erfüllt werden – insbesondere die Schutzfunktion vor Naturgefahren – und der Wald als naturnahe Lebensgemeinschaft geschützt wird (Art. 2 Kantonales Waldgesetz).

Energie

Das Energiegesetz bezweckt eine effiziente und nachhaltige Energienutzung, eine wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung, die Substitution von fossilen Energieträgern und eine verstärkte Nutzung einheimischer und erneuerbarer Energien (Art. 2 Energiegesetz).

Wirtschaft

Kanton und Gemeinden schaffen günstige Rahmenbedingungen für eine leistungsfähige und nachhaltige Wirtschaft. Sie betreiben eine aktive Wirtschaftsförderung. Sie fördern die Bestrebungen der Wirtschaft im Hinblick auf die Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen (Art. 84 Kantonsverfassung).

Infrastruktur

Kanton und Gemeinden sorgen unter anderem für die angemessene Versorgung des Kantonsgebietes bezüglich Wasser und Energie, Verkehrsverbindungen sowie Telekommunikation. Sie fördern die sichere, ausreichende und umweltschonende Versorgung mit Energie, deren sparsame und rationelle Verwendung sowie die Nutzung erneuerbarer Energien (Art. 82 Kantonsverfassung).

Raumplanung

Kanton und Gemeinden streben eine zweckmässige, haushälterische, koordinierte und nachhaltige Entwicklung und Nutzung des Kantonsgebietes an. Sie berücksichtigen dabei die Bedürfnisse von Menschen und Umwelt sowie die dezentrale Besiedlung (Art. 80 Kantonsverfassung). Das Raumplanungsgesetz legt die kantonalen Bau- und Zonenvorschriften fest. Sie umfassen Bauzonen, Zonen für

touristische Einrichtungen, Landwirtschaftszonen, Natur- und Landschaftsschutzzonen, Grundwasser- und Quellschutzzonen und die Gefahrenzonen. Die Vorschriften haben zum Ziel, die Verletzlichkeit der Systeme zu reduzieren, etwa indem in Zonen mit grosser Gefahr durch Naturgefahren keine neuen Anlagen errichtet werden dürfen.

Gebäude

Das Gebäudeversicherungsgesetz bezweckt eine elementarschadensichere Bauweise von Gebäuden in durch Naturgefahren gefährdeten Gebieten und Gefahrenzonen (Art. 15 Gebäudeversicherungsgesetz, Art. 8 Verordnung zum Gesetz über die Gebäudeversicherung).

Wasserbau

Das Wasserbaugesetz bezweckt den Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten vor schädlichen Auswirkungen des Wassers, insbesondere vor Überschwemmungen, Erosion, Feststoffablagerungen und Murgängen (Art. 1 Wasserbaugesetz).

Gewässerschutz

Der Kanton regelt die Nutzung des Wassers sowie der Wasserkraft. Die Hoheit über öffentliche Gewässer kommt den Gemeinden zu (Art. 83 Kantonsverfassung). Das Gewässerschutzgesetz bezweckt unter anderem, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen. Es dient insbesondere der Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen; der Sicherstellung und der haushälterischen Nutzung des Trink- und Brauchwassers; der Erhaltung natürlicher Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt; der Erhaltung von Fischgewässern; der Erhaltung der Gewässer als Landschaftselemente; der landwirtschaftlichen Bewässerung; der Benützung zur Erholung; der Sicherung der natürlichen Funktion des Wasserkreislaufs (Art. 1 Gewässerschutzgesetz).

Umweltschutz

Kanton und Gemeinden sorgen für die Erhaltung und den Schutz der Tier- und Pflanzenwelt und deren Lebensräume. Sie treffen Massnahmen für die Erhaltung und den Schutz von wertvollen Landschaften und Ortsbildern, geschichtlichen Stätten sowie von Naturobjekten und Kulturgütern (Art. 81 Kantonsverfassung).

Naturschutz

Das Natur- und Heimatschutzgesetz bezweckt unter anderem die Erhaltung der Landschaft einschliesslich ihrer Eigenart und Vielfalt sowie ihre nachhaltige Entwicklung und die Erhaltung der Biodiversität (Art. 1 Natur- und Heimatschutzgesetz).

5.2 Ziele

Die Folgen des Klimawandels einzudämmen und Anpassungsmassnahmen einzuleiten ist eine wichtige strategische Herausforderung für die Schweiz (vgl. Botschaft über die Legislaturplanung 2011-2015 Art. 22). Diese Herausforderung hat der Kanton Graubünden angenommen und bezeichnet in der Botschaft zum Regierungsprogramm 2013-2016 den fortschreitenden Klimawandel als einen von sechs Rahmentrends. Er ist bestrebt, Massnahmen gegen negative Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Umwelt, Landwirtschaft und Tourismus zu ergreifen und Gemeinden zu befähigen, schädliche Folgen zu vermindern (Regierung des Kantons Graubünden, 2012). Die Ziele des Regierungsprogramms 2013-2016 nehmen nur wenig Bezug zum Klimawandel. Vorrangiges Ziel ist es, wirtschaftliches Wachstum in den verschiedenen Sektoren zu fördern und die Attraktivität Graubündens als Wirtschafts-, Arbeits- und Wohnraum zu erhöhen (Regierung des Kantons Graubünden, 2014). Vor dem Hintergrund der Risiken und Chancen des Klimawandels scheint es unabdingbar, konkrete Ziele im Umgang mit den Herausforderungen zu formulieren. Die wichtigsten Ziele werden in der Klimastrategie ausformuliert (vgl. ANU, 2015c).

6 Glossar

6.1 Abkürzungen

Kürzel	Erläuterung
AEV	Amt für Energie und Verkehr Graubünden
AG	Amt für Gesundheit Graubünden
AJF	Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
ALG	Amt für Landwirtschaft und Geoinformation Graubünden
ALT	Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit Graubünden
AMZ	Amt für Militär und Zivilschutz Graubünden
ARE	Amt für Raumentwicklung Graubünden
ANU	Amt für Natur und Umwelt Graubünden
AWN	Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden (vormals AFW)
AWT	Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden
GA	Gesundheitsamt Graubünden
GVG	Gebäudeversicherung Graubünden
TBA	Tiefbauamt Graubünden
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLN	Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung
BIP	Bruttoinlandprodukt
bzw.	Beziehungsweise
°C	Grad Celsius
CHF	Schweizer Franken
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ eq	Kohlendioxid Äquivalent
CH	Schweiz
Eawag	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz; Dübendorf
GR	Graubünden
GVG	Gebäudeversicherung Graubünden
GWh	Gigawattstunden
ha	Hektare
LID	Landwirtschaftlicher Informationsdienst
Mia.	Milliarde
Mio.	Million
m ³	Kubikmeter
mm	Millimeter
m ü. M.	Meter über Meer
MWh	Megawattstunden
kWh	Kilowattstunden
km ²	Quadratkilometer
s	Sekunde
vgl.	Vergleiche
z. B.	Zum Beispiel
%	Prozent

6.2 Erläuterungen

A1B: Das Emissionsszenario A1B rechnet mit einer Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2050, danach mit einer leichten Abnahme. Grundlage für dieses Szenario ist die Annahme, dass die globale Wirtschaft und die Bevölkerung bis Mitte des Jahrhunderts rasch anwachsen werden und danach wieder zurückgehen. Zudem nimmt das Szenario an, dass rasch neue und effiziente Technologien eingesetzt werden und dass fossile und nicht-fossile Energiequellen mengenmässig ungefähr gleich eingesetzt werden (nach MeteoSchweiz, 2013 und IPCC, 2015).

Biodiversität: Biodiversität bezeichnet sowohl die Vielfalt der Organismen, als auch deren genetische Variabilität und die Vielfalt ihrer Lebensräume (BAFU, 2012f).

Bruttowertschöpfung: Bruttowertschöpfung entspricht dem in einem Unternehmen, einer Branche oder einer Region geschaffenen Wertzuwachs in einem Jahr. Errechnet wird sie aus dem erzielten Umsatz abzüglich der von Dritten bezogenen Güter und Dienstleistungen (den sogenannten Vorleistungen). Die Bruttowertschöpfung ist somit ein Mass für die wirtschaftliche Leistung (HTW, 2008).

Elementarschäden: Elementarschäden sind Schäden, die durch Naturgefahren wie z. B. Lawinen, Überschwemmungen, Steinschlag, Sturm oder Hagel an Gebäuden oder landwirtschaftlichen Kulturen verursacht werden (GVG, 2014b).

Frosttage: Als Frosttage gelten Tage mit einer Minimumtemperatur unter 0 °C (MeteoSchweiz, 2014c).

Gefahrenzonen: Gefahrenzonen umfassen Gebiete, die durch Lawinen, Rutschungen, Steinschlag, Überschwemmungen oder andere Naturereignisse bedroht sind. Sie werden nach den kantonalen Richtlinien in eine Gefahrenzone mit hoher Gefahr (Gefahrenzone 1 = rote Gefahrenzone) und in eine Gefahrenzone mit geringer Gefahr (Gefahrenzone 2 = blaue Gefahrenzone) unterteilt. In der Gefahrenzone 2 bedürfen neue Bauten und Anlagen, die dem Aufenthalt von Menschen und Tieren dienen, besonderer baulicher Schutzmassnahmen bzw. eines angemessenen Objektschutzes (Art. 38 Raumplanungsgesetz).

Heizgradtage: Die Summe der täglich ermittelten Differenzen zwischen einer angestrebten Raumlufttemperatur (20 °C) und des Tagesmittels der Aussenlufttemperatur (2 m über Boden gemessen) aller Heiztage (vgl. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) Empfehlung 381/3 und Mete oSchweiz, 2014c).

Hundert-Tage-Regel: Ein Skigebiet gilt als schneesicher, wenn in sieben von zehn Wintern vom 1. Dezember bis zum 5. April an mindestens 100 Tagen eine Schneehöhe von mindestens 30 cm erreicht wird (Abegg, 2012).

Kühlgradtage: jeder Tag, an dem die durchschnittliche Temperatur über 18.3 °C (entspricht 65 ° Fahrenheit) steigt, wird als Kühltag bezeichnet. An jedem dieser Kühltag wird gemessen, um wie viel die Aussenlufttemperatur von der angestrebten Innentemperatur (in der Regel 20 °C) abweicht. Daraus ergeben sich Kühlgradtage (MeteoSchweiz, 2014c).

Landesindex der Konsumentenpreise (LIK): Der LIK misst die Preisentwicklung der Waren und Dienstleistungen, die für die privaten Haushalte bedeutsam sind. Er gibt an, in welchem Umfang die Konsumenten bei Preisveränderungen die Ausgaben erhöhen oder senken müssen, um das Verbrauchsvolumen konstant halten zu können (BFS, 2014a).

Orkan: Orkane sind Winde mit einer Geschwindigkeit von über 117 km/h (PLANAT, 2014c).

Permafrost: Permafrost ist ständig gefrorener Boden, wobei alle Bodenarten (Fels, Schutthalden, Moränen etc.) betroffen sein können. Permafrost kommt auf rund 6 % der Fläche der Schweizer Alpen vor, hauptsächlich oberhalb von 2400 m ü. M. Im Sommer erwärmt sich nur die oberste Schicht des Bodens, die Auftauschicht. Permafrost ist nicht direkt sichtbar, es gibt im Gelände jedoch Anzei-

chen dafür, dass Permafrost vorhanden ist (SLF, 2014b). Zu ihnen zählen etwa vergleichsweise spät ausapernde Schneefelder.

Q347: Die Abflussmenge Q347 ist eine der Grundlagen für die Festsetzung von Mindestrestwassermengen. Es ist in Art. 4 des Gewässerschutzgesetzes definiert als «Abflussmenge, die, gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist» (BAFU, 2014c).

RCP3PD: Gemäss dem Szenario RCP3PD wird die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre bis 2050 um etwa 50 % gesenkt und bis Ende des Jahrhunderts auf die Werte der Jahre um 1900 reduziert. Das Szenario geht von einer starken Reduktion der Treibhausgasemissionen in den kommenden Jahrzehnten aus. Dieses Szenario beschränkt die globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 66% auf plus 2 °C. RCP steht für representative concentration pathway; 3 steht für den angenommenen Strahlungsantrieb von 3 Watt pro Quadratmeter (W/m^2); PD steht für peak and decline, respektive den Verlauf der Konzentration in der Atmosphäre (nach MeteoSchweiz, 2013 und IPCC, 2015).

Starkniederschlag: Ein Starkniederschlag erreicht mehr als 20 mm Niederschlag pro Tag (MeteoSchweiz, 2014c).

Sturm: ein Sturm erreicht Windgeschwindigkeiten von über 75 km/h (PLANAT, 2014c).

Trockenperiode: Eine Trockenperiode ist die maximale Anzahl zusammenhängender Tage des Kalenderjahres für welche der Tagesniederschlag weniger als 1 mm beträgt (MeteoSchweiz, 2014c).

Tropennacht: Eine Nacht, in der die Temperaturen nicht unter 20 °C fallen, wird als Tropennacht bezeichnet (MeteoSchweiz, 2014c).

Vegetationsperiode: Tage pro Kalenderjahr zwischen dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen über 5 °C, in der Regel in der ersten Jahreshälfte und dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen unter 5 °C in der zweiten Jahreshälfte (nach MeteoSchweiz, 2012).

Vektorübertragene Krankheiten: Unter vektorübertragenen Krankheiten versteht man Infektionskrankheiten, bei denen die Erreger (Viren, Bakterien etc.) durch andere Arten (Vektoren) wie z. B. Stechmücken oder Zecken übertragen werden (BAG, 2014b).

Wassernutzung: Verwendung von Wasser, welches sauber und ohne Verzögerung an die Umwelt zurückgegeben wird. Zur Wassernutzung zählt beispielsweise die Verwendung von Wasser zur Stromproduktion (Björnsen Gurung und Stähli, 2014).

Wasserverbrauch: Das Wasser wird dem Kreislauf vorübergehend entzogen und später und eventuell andernorts in veränderter Qualität zurückgeführt. Als Wasserverbrauch gelten beispielsweise die Trinkwasser, Bewässerung und Beschneigung (Björnsen Gurung und Stähli, 2014).

6.3 Literaturverzeichnis

- Abegg B. 2012. Natürliche und technische Schneesicherheit in einer wärmeren Zukunft. S. 29-35 In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.) 2012: Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen. Forum für Wissen 2012: 68 S.
- AEV (Amt für Energie und Verkehr Graubünden). 2013. Energiemonitoring Graubünden 2012. Chur, 18 S.
- AEV (Amt für Energie und Verkehr Graubünden). 2014. Information/Expertenauskunft.
- AEV (Amt für Energie und Verkehr Graubünden). 2015. Informationsveranstaltung für Grossverbraucher im Kanton Graubünden [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 6.6.2015.
- AfW (Amt für Wald Graubünden). 2009. Gletscher und Klimawandel in Graubünden. Faktenblatt 14 (erste Ausgabe), Chur, 12 S.
- Allergiezentrum Schweiz. 2015. Pollenallergie [online]. www.pollenundallergie.ch. Abgerufen am 30.04.2015.
- ALN (Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern). 2010. Biodiversität und Lebensräume. Bern, 52 S.
- ALT (Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit). 2015. Trinkwasser [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 1.03.2015.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2005. Aktiver Gewässerschutz am Beispiel der Abwasserentsorgung in Graubünden. Umwelt-Info, Jahrgang 2005, Nummer 1. Chur, 6 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2009. Klima-Wandel. Umwelt-Info, Jahrgang 2009, Nummer 1. Chur, 120 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2013. Invasive gebietsfremde Pflanzen in Graubünden. Jahresbericht 2013. Chur, 31 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2014a. Klimawandel Graubünden. Zweiter Bericht über die Tätigkeiten und Projekte der Verwaltung in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung. Chur, 98 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2014b. Übersicht zu der Artauswahl des Kantons Graubünden für die NFA-Periode 2012-2015.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2014c. Info/Expertenauskunft.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2015a. Klimawandel Graubünden. Analyse der Herausforderungen und Handlungsfelder im Bereich Klimaanpassung. Arbeitspapier 1 einer kantonalen Klimastrategie. Chur, 110 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2015b. Klimawandel Graubünden. Analyse der Herausforderungen und Handlungsfelder im Bereich Klimaschutz. Arbeitspapier 2 einer kantonalen Klimastrategie. Chur, 96 S.
- ANU (Amt für Natur und Umwelt Graubünden). 2015c. Klimawandel Graubünden. Arbeitspapier 4. Synthese der Herausforderungen und Handlungsfelder. Chur, 31 S.
- ARE (Amt für Raumentwicklung Graubünden). 2009. Richtplan Kanton Graubünden. Stand 30. Dezember 2009. Chur, 421 S.
- ARE (Amt für Raumentwicklung Graubünden). 2010. Raumbewertung Kanton Graubünden. Neue Daten über die Raumentwicklung. Chur, 90 S.
- ARE (Amt für Raumentwicklung Graubünden). 2014. Bevölkerungsperspektive für den Kanton Graubünden von 2012 bis 2040. Fact Sheet. Chur, 4 S.
- ASTRA (Bundesamt für Strassen). 2014. Übersicht VSS-Standardreports nach SN 641'704 (inkl. Zusatzreports).
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2010. Biodiversität im Wald. Förderung der natürlichen Vielfalt in Graubündens Wäldern. Faktenblatt 15, erste Ausgabe. Chur, 12 S.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2011. Schutzbauten in Graubünden – für mehr Sicherheit vor Naturgefahren. Faktenblatt 16, erste Ausgabe. Chur, 12 S.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2013. Waldbrände in Graubünden. Wenn Feuer Wälder fressen. Faktenblatt 2, erste Ausgabe August 2013. Chur, 4 S.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2014a. Daten der Datenbank StorMe.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2014b. Daten der Waldbranddatenbank.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden). 2014c. Der Bündner Wald 2014. Zahlen, Fakten, Kontakte. Faktenblatt 3, neunte Ausgabe. Chur, 12 S.
- AWN (Amt für Wald und Naturgefahren). 2015. Expertenauskunft Holzpreise.
- AWT (Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden). 2011. Neue Regionalpolitik im Kanton Graubünden. Umsetzungsprogramm Graubünden 2012-2015. Chur, 99 S.
- AWT (Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden). 2013. Herausforderung Klimawandel. Chancen und Risiken für den Tourismus in Graubünden. Chur, 71 S.
- Badoux A, Peter A, Rickenmann D, Junker J, Heimann F, Zappa M, Turowski JM. 2014. Geschiebetransport und Forellenhabitat in Gebirgsflüssen der Schweiz: mögliche Auswirkungen der Klimaänderung. Wasser Energie Luft – 106. Jahrgang, 2014, Heft 3, S. 200-209.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2007. Restwasserkarte Schweiz 1:200'000. Wasserentnahmen und -rückgaben. Bern, 92 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2011. Bodenwelten. Umwelt 4/2011. Bern, 63 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2012a. Natürliche Ressourcen in der Schweiz. Lebensraum Stadt. Umwelt Nr. 4, 2012. Bern, 63 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, 66S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2012c. Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“ (Postulat 10.353 von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010). Bern, 87 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2012d. Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesenbericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217, 76 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2012e. Natürliche Ressourcen in der Schweiz. Kostbare Umweltinfrastruktur. Umwelt Nr. 2, 2012. Bern, 64 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2012f. Strategie Biodiversität Schweiz. Bern, 89 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2013. Anpassung an den Klimawandel: Sektor Landwirtschaft. Faktenblatt zur Strategie des Bundesrates «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz». Bern, 4 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2014a. Objekte des BLN [online]. www.bafu.admin.ch. Abgerufen am 01.11.2014.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2014b. Hinweiskarte der potenziellen Permafrostverbreitung [online]. www.swisstopo.ch. Abgerufen am 01.10.2014.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2014c. Bestimmung der Abflussmenge Q347 [online]. www.bafu.admin.ch. Abgerufen am 06.11.2014.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2014d. Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014-2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates. Bern, 113 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt). 2014e. Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel [online]. www.bafu.ch. Abgerufen am 02.03.2015.
- BAG (Bundesamt für Gesundheit). 2014a. Zeckenübertragene Krankheiten [online]. www.bag.admin.ch. Abgerufen am 22.10.2014.
- BAG (Bundesamt für Gesundheit). 2014b. Vektorübertragene Krankheiten [online]. www.bag.admin.ch. Abgerufen am 22.10.2014.
- BAG (Bundesamt für Gesundheit). 2014c. Malaria [online]. www.bag.admin.ch. Abgerufen am 22.10.2014.
- BAV (Bundesamt für Verkehr). 2014. Information/Experten Auskunft.
- BAW (Bündner Wanderwege). 2015. Wanderwegnetz [online]. www.baw-gr.ch. Abgerufen am 1.03.2015.
- BBGR (Bergbahnen Graubünden). 2013. Zahlen und Fakten Oktober 2013 [online]. www.bbgr.ch. Abgerufen am 08.01.2015.
- BFE (Bundesamt für Energie). 2011. Strompreisentwicklung in der Schweiz. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 08.3280 Stähelin vom 4. Juni 2008. Bern, 31 S.
- BFE (Bundesamt für Energie). 2013. Energieperspektiven 2050. Zusammenfassung. Bern, 36 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2009. Schweizer Landwirtschaft. Taschenstatistik. Bern, 36 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2010. Zukünftige Bevölkerungsentwicklung – Daten, Indikatoren - Kantonale Szenarien. Graubünden [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 19.08.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2011. Produktionswert des Primärsektors pro Hektare, 2011 [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 08.01.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2012. Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP).
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2013a. Schweizer Landwirtschaft. Taschenstatistik 2013. Neuchâtel, 35 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2013b. Land- und Waldwirtschaft. Panorama. Neuchâtel, 9 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2013c. Regionalporträts 2013: Kantone – Kennzahlen. Neuchâtel.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014a. Landesindex der Konsumentenpreise – Indikatoren [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 25.09.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014b. Forstwirtschaft – Indikatoren. Forstwirtschaftliche Gesamtrechnung [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 28.10.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014c. Tourismus: Panorama [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 24.10.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014d. Landwirtschaft – Indikatoren. Produktion und Einkommen – Pflanzenproduktion [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 28.10.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014e. Mobilität und Verkehr. Verkehrsunfälle in der Schweiz 2013. Neuchâtel, 16 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014f. Infrastruktur und Streckenlänge [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 11.11.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014g. Bewässerung im Freiland in den Landwirtschaftsbetrieben, 2010 [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 11.11.2014.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2014h. Die Bevölkerung der Schweiz 2013. Neuchâtel, 20 S.
- BFS (Bundesamt für Statistik). 2015. Umwelt – Indikatoren. Umweltzustand – Bodenversiegelung [online]. www.bfs.admin.ch. Abgerufen am 27.5.2015.
- Bildungsserver. 2015. Hitzewellen [online]. www.wiki.bildungsserver.de. Abgerufen am 17.07.2015.
- Björnsen Gurung A, Stähli M. 2014. Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 „Nachhaltige Wassernutzung“, Bern, 69 S.

- BLW (Bundesamt für Landwirtschaft). 2011. Klimastrategie Landwirtschaft. Bern, 46 S.
- Bommer C, Phillips M, Keusen HR, Teyssere P. 2009. Bauen im Permafrost: Ein Leitfaden für die Praxis. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 126 S.
- Bründl M, Blaser L, Holthausen N, Roth, E. 2013. Analyse der klimabedingten Risiken für Gebäudebestand und Infrastrukturen im Kanton Graubünden (ClimRisk-GR). Schlussbericht Phase 1, Davos, 48 S.
- Burga CA. 1999. Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch (Switzerland). *Applied Vegetation Science*. Volume 2, 1, pp 17–24.
- Burga CA. 2013. More and quicker new land for pioneer plants and faster plant settlement - 14 years plant monitoring of the glacier foreland Morteratsch (2000 m a.s.l., Pontresina, Upper Engadine, Switzerland). In: Frei ER, Stöckli V, Rixen C, Wipf S (eds). 2013. *Faster, Higher, More? Past, Present and Future Dynamics of Alpine and Arctic Flora under Climate Change*. Abstracts. International conference, September 22 to 25, 2013 Bergün, Switzerland.
- BUWAL, BWG, MeteoSchweiz. 2004. Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern, 174 S.
- CH2011. 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OccC, Zurich, Switzerland, 88 pp.
- CH2014-Impacts. 2014. *Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland*, published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.
- Conedera M, Tinner W. 2010. Langzeit-Feuerökologie der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 161 (2010) 11: 424–432.
- Dalmard A. 2011. Bilan des 8 premières années du monitoring des étangs de Macun (Parc National Suisse): évolution de la biodiversité aquatique en relation avec le réchauffement climatique. Haute Ecole du Paysage, d'ingénierie et d'Architecture, Lullier. Université Paul Verlaine, Metz, 46 S.
- Diem S. 2014. Uferfiltration im Kontext der Klimaänderung. In: *Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck?* Tagungsband Infotag 2014, S. 16-19.
- DJSG (Departement für Justiz, Sicherheit, und Gesundheit Graubünden). 2013. Leitbild zur Organisation der Gesundheitsversorgung im Kanton Graubünden. Chur, 44 S.
- Dobbertin M, Giuggiola A. 2006. Baumwachstum und erhöhte Temperaturen. *Forum für Wissen* 2006: 35–45.
- Dorren L, Berger F, Maier B. 2005. Der Schutzwald als Steinschlagnetz. *LWF* 50, Ausgabe 3, S. 25-27.
- Eawag. 2014. Wasserinfrastrukturen nachhaltig in eine unsichere Zukunft führen. *Eawag news*, Nr. 2, 2014.
- EBP/SLF/WSL. 2013a. Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Methodenbericht. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL. 2013b. Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Ergebnisbericht. Bundesamt für Umwelt, Bern, 67 S.
- EBP. 2014. Gefährdungsanalyse Kanton Graubünden. Amt für Militär und Zivilschutz Graubünden AMZ Chur.
- Ecoplan. 2005. Branchenszenarien Schweiz. Langfristszenarien zur Entwicklung der Wirtschaftsbranchen mit einem rekursiv-dynamischen Gleichgewichtsmodell (SWISSGEM). Bern, 27 S.
- ECOSPEEDRegion. 2015. Software für Klimaschutz [online]. www.region.ecospeed.ch. Abgerufen am 17.2.2015.
- EFV (Eidgenössische Finanzverwaltung). 2015. Finanzausgleich. Zahlen [online]. www.efv.admin.ch. Abgerufen am 6.3.2015.
- Elsen PR, Tingley MW. 2015. Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. *Nature Climate Change* doi:10.1038/nclimate2656.
- Ewald KC, Klaus G. 2009. Die ausgewechselte Landschaft – Vom Umgang der Schweiz mit ihrer wichtigsten natürlichen Ressource. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt, 752 S.
- Fischer M. et al. 2015. Zustand der Biodiversität in der Schweiz 2014. Hrsg.: Forum Biodiversität Schweiz, Bern.
- Forster B, Meier F, Gall R, Zahn Ch. 2003. Erfahrungen im Umgang mit Buchdrucker-Massenvermehrungen (*Ips typographus*L.) nach Sturmereignissen in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 154 (11) 431-436.
- Frei ER, Stöckli V, Rixen C, Wipf S (eds). 2013. *Faster, Higher, More? Past, Present and Future Dynamics of Alpine and Arctic Flora under Climate Change*. Abstracts. International conference, September 22 to 25, 2013 Bergün, Switzerland.
- Freiburghaus M. 2012. Statistische Übersicht über die Wasserversorgung in der Schweiz 2010. *AQUA & GAS* Nr. 3, S. 54-59.
- Gamper MW. 1983. Controls and rates of movement of solifluction lobes in the Eastern Swiss Alps. *Proceedings 4th International Conference on Permafrost*, Fairbanks, Alaska, Natl. Acad. Sci., Washington DC, pp. 328 – 333.
- Gemeinde Davos. 2011. Jahresbericht und Jahresrechnung 2011. Davos, 101 S.
- Geo7. 2015. Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 2: Resultate. Bern, 89 S.
- GKB (Graubündner Kantonalbank) und AWT (Amt für Wirtschaft und Tourismus). 2013. *Durchblick 2013*. Graubünden in Zahlen. Chur, 31 S.
- Goepfert R. 2007. Ermittlung der Bewässerungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen im Kanton Graubünden. Praktikumsarbeit. Chur, 80 S.
- GraNat (Graubünden Naturgefahren). 2014a. Der Lawinenwinter 1950/1951 in Graubünden [online]. www.gra-nat.ch. Abgerufen am 18.11.2014.
- GraNat (Graubünden Naturgefahren). 2014b. Bergsturz-Ereignisse in Graubünden [online]. www.gra-nat.ch. Abgerufen am 18.11.2014.

- Grize L, Huss A, Thommen O, Braun-Fahrländer Ch. 2005. Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *SWISS MED WKLY* 2005; 135:200–20.
- Von Grünigen S, Montanari D, Ott W. 2014. Wert der Erholung im Schweizer Wald. Schätzung auf Basis des Waldmonitorings soziokulturell (WaMos 2). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1416, 46 S.
- GVG (Gebäudeversicherung des Kantons Graubünden). 2014a. Datenbank Schäden.
- GVG (Gebäudeversicherung des Kantons Graubünden). 2014b. Jahresbericht 2013. Chur, 40 S.
- Haeberli W, Gruber S. 2009. Global Warming and Mountain Permafrost. Chapter 14. In: R. Margesin (ed.) *Permafrost Soils, Soil Biology* 16. Springer-Verlag, Heidelberg.
- 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.
- Hanselmann K. 1997. Die Jöriseen: Naturlabor im Hochgebirge. *Davoser Revue*, 72. Jahrgang, Nr. 3, S. 13-19.
- Hari RE, Livingstone DM, Siber R, Burkhardt-Holm P, Güttinger H. 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology* 12: 10-26.
- Hilker N, Badoux A, Hegg C. 2009. The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 913-925.
- Hollender J, Huntscha S. 2014. Gewässerufer als Filter für Mikroschadstoffe. In: *Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck? Tagungsband Infotag 2014*, S. 12-15.
- HTW (Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur). 2008. Wertschöpfung des Tourismus in den Regionen Graubündens – Stand und Entwicklung. Chur, 56 S.
- Huggenberger P, Epting J, Scheidler S, Affolter A. 2014. Ökologie und Wasserversorgung in urbanen Gebieten. In: *Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck? Tagungsband Infotag 2014*, S. 19-23.
- Infoflora. 2014. Das nationale Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora [online]. www.infoflora.ch. Abgerufen am 7.11.2014.
- INFRAS und Egli Engineering AG. 2014a. Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri. Zürich, 286 S.
- INFRAS und Egli Engineering AG. 2014b. Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt. Zürich, 157 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. 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 Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2015. The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) [online]. www.ipcc.gov. Abgerufen am 04.05.2015.
- IRV (Interkantonaler Rückversicherungsverband). 2011. Statistische Analyse. Analyse langfristiger Gebäudeschadendaten. Auswertung des Datenbestandes der Schadenstatistik VKF. Bern, 46 S.
- Jakob A, Liechti P, Binderheim-Bankay E. 2002. 30 Jahre NADUF. Eine Zwischenbilanz. Gas - Wasser - Abwasser, 3/2002, S. 203-208.
- Jakob A. 2010. Temperaturen in Schweizer Fliessgewässern. *Gas, Wasser, Luft* 3: 221-231.
- Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M. 2005. Divergent growth responses of Alpine forests to 2003 heat wave. *Geophys. Res. Lett.* 32, 18.
- Jonas T. 2012. Monitoring von Schneewasserressourcen in der Schweiz. In: *Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.) 2012: Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen. Forum für Wissen 2012*: 68 S.
- Jones HG, Pomeroy JW, Walker DA, Hoham RW. 2001. *Snow Ecology. An interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems*. Cambridge University Press, 378 pp
- Jüstrich H. 2013. Klimawandel: Fakt oder Fiktion? *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 149 (16), S. 4-7.
- Jüstrich H. 2014. Rebbaustatistik 2014 im Bündner Rheintal. *Fachstelle Weinbau am Plantahof*, 48 S.
- Kanton Graubünden. 2014a. Bevölkerung [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 12.10.2014.
- Kanton Graubünden. 2014b. Aus Vivian-Schäden für Lothar lernen [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 23.10.2014.
- Kanton Graubünden. 2014c. Land- und Forstwirtschaft [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 23.10.2014.
- Kanton Graubünden. 2014d. Tourismus [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 23.10.2014.
- Kanton Graubünden. 2015. Fledermäuse – geheimnisvoll, faszinierend, schützenswert [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 30.04.2015.
- Kantonspolizei Graubünden. 2014. Statistik der Verkehrsunfälle 2013. Chur, 45 S.
- Kipfer R, Livingstone DM. 2008. Wasserressourcen und Klimawandel. *Eawag News* 65d/September 2008. S.8-11.
- Klaus G, Pauli D. 2013. Die Alpen – Biodiversitäts-Hotspot Europas. *Hotspot* 27/2013: 4-5.
- Körner C. 2012. *Alpine Treelines. Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits*. Springer Verlag. Basel, 220 S.

- KOHS (Kommission Hochwasserschutz, Wasserbau und Gewässerpflege). 2007. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. *Wasser Energie Luft* 1: 55-57.
- Lanfranchi M. 2013. Gebietsfremde Tiere und Pflanzen in Graubünden. *Pro natura regio* 2/13, S. 3-4.
- Lanz K, Rahn E, Siber R, Stamm C. 2014: Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern, 81 S.
- LID (Landwirtschaftlicher Informationsdienst). 2014. Mit dem Klima verbunden. Die Schweizer Bauern [online]. www.landwirtschaft.ch. Abgerufen am 28.10.2014.
- Linsbauer A, Paul F, Haeberli W. 2012. Modelling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a robust approach. *Journal of Geophysical Research* 117: 1-17.
- Luder W, Moritz M. 2005. Rauhfutterernte: Klimaerwärmung besser nutzen. FAT-Berichte Nr. 634, S.
- Marty C, Phillips M, Lehning M, Wilhelm C, Bauder A. 2009. Klimaänderung und Naturgefahren in Graubünden. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen* 160, 7: 201-209.
- MacArthur RH, Wilson, EO. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, 224 S.
- MeteoSchweiz. 2009. Klimabericht Kanton Graubünden 2009. Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 228, 48 S.
- MeteoSchweiz. 2012. Klimabericht Kanton Graubünden 2012. Fachbericht MeteoSchweiz, 242, 56 S.
- MeteoSchweiz. 2013. Klimadiagramme und Klimanormwerte an Stationen [online]. www.meteoschweiz.admin.ch. Abgerufen am 13.10.2014.
- MeteoSchweiz. 2014a. Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 S.
- MeteoSchweiz. 2014b. Homogene Monatsdaten [online].]. www.meteoschweiz.admin.ch. Abgerufen am 17.11.2014.
- MeteoSchweiz. 2014c. Klima Indikatoren [online].]. www.meteoschweiz.admin.ch. Abgerufen am 30.04.2015.
- MeteoSchweiz. 2015. Hitzewelle: Eine klimatologische Betrachtung [online]. www.meteoschweiz.admin.ch. Abgerufen am 17.07.2015.
- Morin X, Fahse L, de Mazancourt C, Scherer-Lorenzen M, Bugmann H. 2014. Temporal stability in forest productivity increases with tree diversity due to asynchrony in species dynamics. *Ecology Letters*. DOI:10.1111/ele.12357.
- Nationalpark. 2014. Kriechende Böden [online]. www.nationalpark.ch. Abgerufen am 07.11.2014.
- NFP 54 (Leitungsgruppe). 2011. Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung – Von der Verwaltung zur aktiven Entwicklung. Programmsynthese des Nationalen Forschungsprogramms 54. Bern, 242 S.
- Niedermair M, Plattner G, Egger G, Essl F, Kohler B, Zika M. 2011. Moore im Klimawandel. Studie des WWF Österreich, der Österreichischen Bundesforste und des Umweltbundesamtes. Wien, 24 S.
- Noetzli J, Hoelzle M, Haeberli W. 2003. Mountain permafrost and recent Alpine rock-fall events: a GIS-based approach to determine critical factors. In: Phillips M., Springman S. and Arenson L. (eds.), 8th International Conference on Permafrost, Proceedings, 2, Zurich. Swets & Zeitlinger, Lisse, 827-832.
- Nöthiger CJ. 2003. Naturgefahren und Tourismus in den Alpen untersucht am Lawinenwinter 1999 in der Schweiz. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, 246 S.
- OcCC (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung). 2003. Extremereignisse und Klimaänderung. Bern, 88 S.
- OcCC (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung). 2007. Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern, 172 S.
- PERMOS (Swiss Permafrost Monitoring Network). 2014. PERMOS sites [online]. www.permos.ch. Abgerufen am 18.11.2014.
- Peter M. 2009. Wiederbeschaffungswert der Umweltinfrastruktur. Umfassender Überblick für die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 0920, 94 S.
- Petraschek A. 2003. Hochwasser. In: Extremereignisse und Klimawandel: Wissensstand und Empfehlungen des OcCC. Bern, S. 69-72.
- PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). 2014a. Entstehung eines Murgangs [online]. www.planat.ch. Abgerufen am 25.08.2014.
- PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). 2014b. Rutschung und Felssturz [online]. www.planat.ch. Abgerufen am 25.08.2014.
- PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). 2014c. Waldbrand [online]. www.planat.ch. Abgerufen am 29.08.2014.
- PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). 2014d. Steinschlag, Felssturz, Bergsturz [online]. www.planat.ch. Abgerufen am 18.11.2014.
- PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). 2015. Sturm [online]. www.planat.ch. Abgerufen am 18.11.2014.
- Plaz P, Isenring M. 2013. Ausgangslage Wirtschaftsraum Graubünden. Referat anlässlich der Präsidentenkonferenz der Bündner Wirtschaftsverbände. Lenzerheide, 4. Oktober 2013.
- Pro natura. 2013. Das grosse Freisetzungsexperiment. *Pro natura Magazin* 02/2013: S. 4-5.
- Rajczak J, Pall P, Schär C. 2013. Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, 3610–3626, doi:10.1002/jgrd.50297.
- Regierung des Kantons Graubünden. 2012. Bericht über die Strompolitik des Kantons Graubünden. Botschaft der Regierung an den Grossen Rat. Chur, Heft Nr. 6 /2012-2013. 119 S.
- Regierung des Kantons Graubünden. 2014. Bericht Wirtschaftsentwicklung im Kanton Graubünden. Botschaft der Regierung an den Grossen Rat. Chur, Heft Nr. 5 /2014 – 2015. 260 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. *Mountain Research and Development*, 31(3): 229-236. 2011.
- Rogers K. 2011. *Infectious Diseases*. Britannica Educational Publishing, New York, 232 S.
- Sass O. 2005. Temporal variability of rockfall in the Bavarian Alps, Germany. *Arc. Antarc. Alp. Res.* 37, 564–573.
- Sass O, Oberlechner M. 2012. Is climate change causing increased rockfall frequency in Austria? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3209-3216.
- Satz N. 2014. Zecken [online]. www.zecken.ch. Abgerufen am 22.10.2014.
- SBS (Seilbahnen Schweiz). 2012. *Fakten und Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche*. Ausgabe 2012. Bern, 21 S.
- SBS (Seilbahnen Schweiz). 2014. *Fakten und Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche*. Ausgabe 2014. Bern, 33 S.
- Schibler W. 1937. *Flora von Davos*. Verzeichnis der Gefässpflanzen der Landschaft Davos und der angrenzenden Gebiete. Chur, 216 S.
- Schmid F, Walter F, Schneider F, Rist S. 2014. *Nachhaltige Wassergouvernanz*. Herausforderungen und Wege in die Zukunft. Thematische Synthese 4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP61 „Nachhaltige Wassernutzung“, Bern, 59S.
- Schönenberger W, Frey W. 1988. Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung. *Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg*. Schweiz. Z. Forstwes., 139;9: 735-820.
- Schüler S, Grabner M, Karanitsch-Ackerl S, Fluch S, Jandl R, Geburek T, Konrad H. 2013. Fichte - fit für den Klimawandel? *BFW-Praxisinformation* 31: 10-12.
- Schweizer Hagel. 2014. Hagelgefahr in der Schweiz [online]. www.hagel.ch. Abgerufen am 02.01.2015.
- SGHL (Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie) und Chy (Hydrologische Kommission) (Hrsg.). 2011. *Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht*. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38, 28 S.
- Sherwood SC, Huber M. 2010. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *PNAS*, vol. 107 no. 21.
- SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung). 2000. *Der Lawinenwinter 1999*. Ereignisanalyse. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 588 S.
- SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung). 2014a. 2001/2002 (Jahresbericht). *Schneehöhenverlauf* [online]. www.slf.ch. Abgerufen am 17.11.2014.
- SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung). 2014b. *Permafrost* [online]. www.slf.ch. Abgerufen am 18. 11. 2014.
- SRF (Schweizer Radio und Fernsehen). 2014. *Wie die Konstruktion in Ischgl dem tauenden Permafrost trotzt* [online]. www.srf.ch. Abgerufen am 20.11.2014.
- Stamm C, Czekalski N, Singer H. 2014. *Flusswasser als Ressource – Einflussfaktoren für die Wasserqualität*. In: *Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck? Tagungsband Infotag 2014*. Eawag, 36 S.
- Standeskanzlei. 2000. *Mitteilung* [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 31.3.2015.
- SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches). 2011. *Trinkwasserstatistik SVGW (2011)* [online]. www.trinkwasser.ch. Abgerufen am 20.08.2014.
- Swisspower. 2014. *Stromkennzeichnung* [online]. www.strommix-schweiz.ch. Abgerufen am 20.8.2014.
- Swiss TPH (Swiss Tropical and Public Health Institute). 2013. *Vorprojekt Nationales Programm zur Überwachung der Tigermücke – Alpennordseite und Wallis*. Zwischenbericht. Basel, 21 S.
- TBA (Tiefbauamt Graubünden). 2014a. *Verkehrsfrequenzen*. Jahresübersichten der Verkehrsfrequenzen und Zählerstandorte [online]. www.gr.ch. Abgerufen am 11.11.2014.
- TBA (Tiefbauamt Graubünden). 2014b. *Verwendung chemischer Auftaumittel*. *Expertenauskunft*. TBA (Tiefbauamt Graubünden). 2014c. *Verbrauch an chemischen Auftaumitteln*. Chur, 4 S.
- Techel F, Zweifel B. 2013. *Recreational avalanche accidents in Switzerland: trends and patterns with an emphasis on burial, rescue methods and avalanche danger*. In: Naaim-Bouvet F, Durand Y, Lambert R (eds.). *International Snow Science Workshop 2013, October, 2013 7th-11th*. Proceedings. ISSW 2013. Grenoble - Chamonix Mont Blanc. Grenoble, ANENA. 1106-1112.
- Theurillat JP, Guisan A. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50: 77–109, 2001.
- Thommen Dombois O, Braun-Fahrländer Ch. 2004. *Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz*. Universität Basel, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, 85 S.
- Tinner W, Allgöwer B, Ammann B, Conedera M, Gobet E, Lotter AF, Stähli M. 2005. Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende. *Schweiz. Z. Forstwes.* 156 (2005) 9: 325-330.
- Tobler G, Ackermann E. 2013. *Herausforderungen des Kantons Graubünden - Trends und ihre Auswirkungen auf die räumliche Entwicklung*. Amt für Raumentwicklung Graubünden ARE, Chur, 51 S.
- Urbiniello D, Rösli M. 2014. *Hitzewellen und Gesundheit*. Newsletter Nr. 1-6, Swiss TPH.
- VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie). 2014. *Schweizerisches Gletschermessnetz* [online]. www.vaw.ch. Abgerufen am 1.10.2014.
- VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie). 2015. *Gefährliche Gletscher im Kanton Graubünden* [online]. www.glaciology.ethz.ch. Abgerufen am 05.05.2015.
- Waldwissen. 2014. *Trockenheit im Wald* [online]. www.waldwissen.net. Abgerufen am 24.10.2014.

- Waldwissen. 2015. Das Trockenjahr 1976 bescherte langjährige Zuwachseinbrüche. www.waldwissen.net. Abgerufen am 13.5.2015.
- Wille J. 2009. Europa im Sturm. Frankfurter Rundschau vom 24. Juli 2009 [online]. www.fr-online.de. Abgerufen am 14.10.2014.
- Wipf S, Dawes MA, Stöckli V, Rixen C. 2014. Accelerating enrichment but few losses of alpine summit flora over the past century. Unpubliziertes Manuskript.
- Wirtschaftskammer Österreich. 2013. Tourismus-Freizeit. Schenner: Juli-Hitze rettet vorerst Tourismus-Sommer-Bilanz [online]. www.wko.at. Abgerufen am 6. Juli 2015.
- Wittchen U, Freier B, Kühn J. 2008. Nutzung von Datenreihen und Simulationsmodellen zur Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf die Befallsentwicklung von Schadorganismen in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 60(7). S. 157–162.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). 2014a. Waldbrände vorhersagen und Folgen erforschen [online]. www.wsl.ch. Abgerufen am 25.08.2014.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). 2014b. Wenn Feuer Wälder fressen. Waldbrände in Graubünden [online]. www.waldwissen.net. Abgerufen am 25.08.2014.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). 2014c. ALP FFIRS ALPine Forest Fire waRning System [online]. www.wsl.ch. Abgerufen am 29.07.2014.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). 2014d. Stärkere Stürme und grössere Sturmschäden im Schweizer Wald [online]. www.waldwissen.net. Abgerufen am 25.08.2014.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). 2014e. Bündner Wald im Klimawandel. Handout zur Medienkonferenz. Birmensdorf, 4 S.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) und BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). 2001. Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf und Bern, 365 S.
- WWF. 2014a. Wasser [online]. www.wwf-gr.ch. Abgerufen am 28.10.2014.
- WWF. 2014b. Klima und Energie [online]. www.wwf-gr.ch. Abgerufen am 28.10.2014.
- Zappa M, Luzi B, Fundel F, Jörg-Hess S. 2012. Vorhersage und Szenarien von Schnee- und Wasserressourcen im Alpenraum. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.): Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen. Forum für Wissen 2012: 19-27.
- Zenklusen Mutter E, Blanchet J, Phillips M. 2010. Analysis of ground temperature trends in Alpine permafrost using generalized least squares. Journal of Geophysical Research, Vol. 115, doi:10.1029/2009JF001648.
- Z'graggen L: 2006. Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 212, 74 pp.
- Zubler E, Scherrer SC, Croci-Maspoli M, Liniger M, Appenzeller C. 2014. Key climate indices in Switzerland; expected changes in a future climate. Climatic Change, 123: 255–271.
- Zweifel, G. 2015. SIA: Energetische Berechnungen neu geordnet. SIA 380 – die revidierte SIA 416/1 (Teil 2) [online]. www.espazium.ch. Abgerufen am 20.07.2015.

6.4 Gesetzessammlung

(alphabetische Reihenfolge)

Botschaft über die Legislaturplanung 2011-2015 vom 15. Juni 2012. Bundesblatt 2012 7155.

Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 23.12.2011 (Stand am 1. Januar 2013).

Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) vom 4. Oktober 1991 (Stand am 1. Juli 2013).

Energiegesetz: BR 820.200 - Energiegesetz des Kantons Graubünden (BEG) vom 20.04.2010, in Kraft seit: 01.01.2011.

Gebäudeversicherungsgesetz: BR 830.100 - Gesetz über die Gebäudeversicherung im Kanton Graubünden (GebVG) vom 15.06.2010, in Kraft seit: 01.01.2011.

Gewässerschutzgesetz: BR 814.20 - Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24.01.1991 (Stand am 1. Juni 2014).

Kantonsverfassung (Verfassung des Kantons Graubünden): BR 110.100 vom 14.09.2003, in Kraft seit: 01.01.2004.

Landwirtschaftsgesetz: BR 910.000 - Gesetz über die Erhaltung und Förderung der Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz) vom 25.09.1994, in Kraft seit: 01.01.1995.

Natur- und Heimatschutzgesetz: BR 496.000 - Gesetz über den Natur- und Heimatschutz im Kanton Graubünden (Kantonales Natur- und Heimatschutzgesetz, KNHG) vom 19.10.2010 (Stand 1. Januar 2013).

Raumplanungsgesetz: BR 801.100 - Raumplanungsgesetz für den Kanton Graubünden (KRG) vom 06.12.2004, in Kraft seit: 01.11.2005.

Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung) vom 30.11.2012 (Stand am 1. Januar 2014).

Verordnung zum Gesetz über die Gebäudeversicherung im Kanton Graubünden (VO zum Gebäudeversicherungsgesetz; VOzGebVG) vom 26. Oktober 2010 (Stand 1. Januar 2015).

Waldgesetz: BR 920.100 - Kantonales Waldgesetz (KWaG) vom 11.06.2012, in Kraft seit: 01.01.2013.

Wasserbaugesetz: BR 807.700 - Gesetz über den Wasserbau im Kanton Graubünden (Wasserbaugesetz, KWBG) vom 27.08.2008, in Kraft seit: 01.01.2009.

6.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Entwicklung der Risiken und Chancen für die Szenarien 2060-schwach und 2060-stark in den analysierten Auswirkungsbereichen. Die grösste Zunahme der Risiken ist in den Auswirkungsbereichen Gesundheit, Tourismus und Biodiversität zu erwarten. Am meisten reduzieren sich Risiken im Auswirkungsbereich Energie. Gleichzeitig werden dort und bei der Biodiversität auch die grössten Chancen erwartet.	19
Abbildung 2. Elemente der Klimastrategie des Kantons Graubünden.	28
Abbildung 3. Jährliche Schadenssummen (Sj) einer fiktiven Gefahr aus den vergangenen 15 Jahren, aufgeteilt in vier Klassen entsprechend S _{j1} (S _j <5 Mio. Franken; 10 Jahrgänge), S _{j2} (5≤S _j <10 Mio. Franken; 3 Jahrgänge), S _{j3} (10≤S _j < 20 Mio. Franken; 1 Jahrgang) sowie S _{j4} (20≤S _j < 30 Mio. Franken; 1 Jahrgang).	34
Abbildung 4. Die hier mit fiktiven Daten dargestellte Farmer-Kurve charakterisiert Ereignisse unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit „w“ und entsprechendem Ausmass „A“. Die Fläche unterhalb des Polynoms stellt das resultierende Gesamtrisiko einer Gefahr oder eines Effektes, bzw. den jährlichen Schadenerwartungswert dar. 35	
Abbildung 5. Abbildung zur Erläuterung der Ergebnisse. In dieser sowie in den folgenden Abbildungen sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der eingefärbten Säulen) als Veränderungen gegenüber dem heutigen Erwartungswert dargestellt. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün die Chancen. Die Analyse ist für jede Gefahr/jeden Effekt und jeden Auswirkungsbereich im Anhang erläutert.	57
Abbildung 6. Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 25 bis 30.	60
Abbildung 7. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Landwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 31 bis 34.	66
Abbildung 8. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Waldwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 35 bis 40.	71
Abbildung 9. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Energie. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabelle 41 bis 43.	77
Abbildung 10. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Tourismus. In der dritten Zeile ist der heutige Erwartungswert aufgeführt. Rote Balken bilden die Risiken (Schaden) ab, grüne Balken die Chancen (Ertrag). Rückläufige Risiken sind gelb markiert. Die grau punktierten Bereiche bezeichnen den Geltungsbereich der Ergebnisse (Unsicherheitsbereich). Die Ergebnisse sind in Mio. Franken ausgewiesen. Der Indikator bezeichnet die Berechnungsgrundlage. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 44 bis 46.	81

Abbildung 11. Entwicklung des versicherten Gebäudebestandes (Anzahl Gebäude) im Kanton Graubünden seit 2007 (Darstellung basierend auf Jahresberichten GVG; vgl. GVG, 2014b). 85

Abbildung 12. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für Infrastruktur/Gebäude. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken. Erläuterungen zu Ergebnissen siehe Tabellen 47 bis 52. 86

Abbildung 13. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Wasserwirtschaft. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabellen 53 bis 55. 91

Abbildung 14. Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Biodiversität. Dargestellt sind die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark (horizontale Linie innerhalb der farbigen Balken) als Veränderungen gegenüber heute. In der ersten Zeile sind die analysierten Gefahren und Effekte aufgeführt, in der zweiten Zeile der heutige Erwartungswert und in der dritten Zeile der gewählte Indikator. Der Rahmen um den Erwartungswert bezeichnet den Unsicherheitsbereich. Rot eingefärbt sind zunehmende Risiken, gelb rückläufige Risiken und grün Chancen. Erläuterungen zu den Ergebnissen siehe Tabelle 56. 95

6.6 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1. Analyisierte Gefahren, Effekte und Auswirkungsbereiche. Die mit „X“ markierten Felder weisen auf die geprüften Schnittstellen hin.</i>	16
<i>Tabelle 2. Anzahl Handlungsfelder, auf welche an den analysierten Schnittstellen zwischen einer Gefahr/einem Effekt und dem Auswirkungsbereich verwiesen wird (vgl. im Kapitel 4).</i>	22
<i>Tabelle 3. Die analysierten acht Auswirkungsbereiche und zwölf Gefahren und Effekte. Die grau hinterlegten Felder werden im vorliegenden Arbeitspapier analysiert. Als Grundlage für diese Analyse dient die Datenbank zu Naturereignissen StorMe (AWN, 2014a), Daten der Gebäudeversicherung Graubünden (GVG, 2014a) sowie der Waldbranddatenbank (WaDB; AWN, 2014b). Alle übrigen Schnittstellen werden mithilfe von Angaben aus der Literatur und der Hilfe von Expertinnen und Experten analysiert.</i>	29
<i>Tabelle 4. Wertung der zukünftigen Veränderung von Intensität und Frequenz einer Gefahr/eines Effektes und die entsprechenden Quotienten.</i>	34
<i>Tabelle 5. Definition, Kategorisierung und Beschreibung des verwendeten Unschärfebereichs gemäss der Fallstudie Uri (INFRAS und Egli Engineering, 2014a).</i>	36
<i>Tabelle 6. Flächenanteile des Kantons Graubünden über verschiedene Höhenstufen.</i>	37
<i>Tabelle 7. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Veränderung Mitteltemperatur.</i>	42
<i>Tabelle 8. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Hitzewellen.</i>	43
<i>Tabelle 9. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Frost.</i>	44
<i>Tabelle 10. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Änderung Niederschlagsregime.</i>	45
<i>Tabelle 11. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Trockenheit.</i>	46
<i>Tabelle 12. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Reduktion der Schneedecke.</i>	48
<i>Tabelle 13. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Abschmelzen der Gletscher.</i>	48
<i>Tabelle 14. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Auftauen Permafrost.</i>	49
<i>Tabelle 15. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Lawinen.</i>	50
<i>Tabelle 16. Grundlagen und Annahmen der Analyse Hochwasser (inklusive Murgang).</i>	52
<i>Tabelle 17. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Steinschlag/Felssturz/Bergsturz.</i>	53
<i>Tabelle 18. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Waldbrand.</i>	54
<i>Tabelle 19. Grundlagen und Annahmen der Analyse von Sturm/Orkan.</i>	55
<i>Tabelle 20. Übersicht zu den verwendeten Indikatoren und Ansätzen der Monetarisierung, in Anlehnung an den Methodenbericht EBP/SLF/WSL, 2013a. Die Berechnungen sind in Kapitel 7.3 jeweils erläutert.</i>	123
<i>Tabelle 21. Klimanormwerte der Temperatur (Jahresmittelwerte über die Jahre 1981 bis 2010) und des Niederschlags (Jahressummen gemittelt über die Jahre 1981 bis 2010) für eine Auswahl an Stationen im Kanton Graubünden. In der zweiten Spalte ist ihre Höhenlage angegeben. Quelle: MeteoSchweiz, 2013.</i>	124
<i>Tabelle 22. Klimaindikatoren (Jahressummen gemittelt über die Jahre 1981 bis 2010) und Modelldaten zu den Szenarien 2060-schwach und 2060-stark. Daten aus Zubler et al., 2014.</i>	124
<i>Tabelle 23. Veränderungen der Temperatur gemäss den Szenarien 2060-schwach (entspricht RCP3PD) und 2060-stark (entspricht oberem Extremwert von A1B) für die Regionen Schweiz Nordost (CHNE) und die Südschweiz (CHS) über alle vier Jahreszeiten. Daten aus CH2011, 2011.</i>	125
<i>Tabelle 24. Veränderung des Niederschlags gemäss den Szenarien 2060-schwach (entspricht RCP3PD) und 2060-stark (entspricht oberem Extremwert von A1B für Winter und Frühling und unterem Extremwert von A1B für Sommer und Herbst) für die Regionen Schweiz Nordost (CHNE) und die Südschweiz (CHS). Daten aus CH2011, 2011.</i>	125
<i>Tabelle 25. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von vektorübertragenen Krankheiten in einem wärmeren Klima. Die Erwartungswerte</i>	

- 2060-schwach und 2060-stark werden geschätzt in Anlehnung an die berechneten Gesundheitskosten (Mittelwert heute: minus 5.6 Mio. Franken). 126
- Tabelle 26. Analyse Erwartungswert Hitzewellen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Hitzewellen in einem wärmeren Klima. Grundlage für die Berechnung bilden die plus 7 % zusätzlichen Todesfälle während des Hitzesommers 2003 (vgl. Grize et al., 2005) und die Szenarien des Indikators Hitzetage verteilt auf die verschiedenen Höhenlagen des Kantons (Zubler et al., 2014). Die Anzahl Hitzetote 2060 berechnet sich aus der Multiplikation der zusätzlichen Todesopfer pro Hitzetag mit der erwarteten Anzahl Hitzetage. 126
- Tabelle 27. Analyse Erwartungswert Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Verkehrsunfällen auf schnee- und eisbedeckten Strassen. Grundlage für die Berechnung bilden die Anzahl Verkehrsunfälle auf schnee- und eisbedeckten Strassen und die entsprechende Anzahl Verletzte und Todesopfer im Kanton Graubünden (vgl. Kantonspolizei Graubünden, 2014). Die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich aus den Quotienten multipliziert mit dem Erwartungswert heute. Die Berechnung geht davon aus, dass die Hälfte aller Unfälle auf Schnee und Eis dem Strassenzustand geschuldet sind. 127
- Tabelle 28. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Lawinen. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadensumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren). 127
- Tabelle 29. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Hochwasser. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadensumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren). 128
- Tabelle 30. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadensumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10, und 30 Jahren). 128
- Tabelle 31. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf die Chance ansteigender Erträge in der Landwirtschaft. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem Mittelwert der berechneten Risiken, multipliziert mit minus 1). Der Erwartungswert 2060-stark entspricht dem Mittelwert der berechneten Risiken 2060-stark. 129
- Tabelle 32. Analyse Erwartungswert Frost. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Frost und seiner Auswirkung auf Erträge in der Landwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass ein erheblicher Frostschaden (Wiederkehrperiode 10 Jahre) Ertragseinbussen an Reben und Obstkulturen im Umfang von 10 % erreichen wird. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem Produkt aus dem Erwartungswert heute und einer geringen Abnahme der Frostereignisse (Quotient 0.9), der Erwartungswert 2060-stark entspricht dem Produkt aus dem heutigen Erwartungswert und einem mässigen (Quotient 0.75). 129
- Tabelle 33. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Trockenheit und dessen Auswirkung auf Erträge in der Landwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass eine

erhebliche Trockenheit (Wiederkehrperiode 10 Jahre) Ertragseinbussen an der gesamten Landwirtschaftsfläche im Umfang von 10 % erreichen wird. Die Erwartungswerte 2060 entsprechen einer geringen (Quotient 1.1) bis mässigen (Quotient 1.25) Zunahme der Schäden infolge von Trockenheit. 130

Tabelle 34. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Hochwasser für die Landwirtschaft. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.0045 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren). 130

Tabelle 35. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf zunehmendes Wachstum der Bäume und die gesteigerte Vielfalt des Sortiments. Als Ausgangsgrösse dient der Mittelwert der berechneten Risiken des Auswirkungsbereichs (multipliziert mit minus 1). Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht einer geringen Zunahme, der Erwartungswert 2060-stark einer mässigen Zunahme des Betrags der Ausgangsgrösse. 131

Tabelle 36. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Trockenheit und dessen Auswirkung auf Erträge in der Waldwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass eine grosse Trockenheit (Wiederkehrperiode 20 Jahre) eine Zwangsnutzung von einem Prozent der jährlichen Nutzung erreicht. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem 1.1-fachen Betrag (geringe Zunahme), der Erwartungswert 2060-stark rechnet mit einer mässigen Zunahme (Quotient 1.25) von Schäden durch Trockenheit. 131

Tabelle 37. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen wegen Waldschäden durch Lawinen. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten gemäss AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren). 132

Tabelle 38. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen wegen Waldschäden durch Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10, und 30 Jahren). 132

Tabelle 39. Analyse Erwartungswert Waldbrand. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen durch Waldbrand. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, und 50 Jahren). 133

Tabelle 40. Analyse Erwartungswert Sturm/Orkan. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen durch heftige Winde von Sturm- oder Orkangrösse. Die Windwürfe und Windbrüche durch den Orkan Vivian vom 27. Februar 1990 waren das bisher grösste Waldschaden-Ereignis in Graubünden. Der Orkan Vivian lieferte 730 000 Kubikmeter Schadholz, was 220 Prozent einer jährlichen Nutzung entspricht (Kanton Graubünden, 2014b). Geht man von einem 100-jährlichen Ereignis aus, resultiert ein jährlicher

Erwartungswert von minus 0.37 Mio. CHF. Die Erwartungswerte schwach und stark resultieren aus der Multiplikation des Schadenerwartungswertes mit 1.1 (geringe Zunahme). 133

Tabelle 41. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert entspricht dem Effekt steigender Mitteltemperaturen auf den Heizölverbrauch zum Heizen von Wohn- und Geschäftsräumen. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Szenarien der Heizgradtage (HGT, Mittelwert über verschiedene Stationen unterschiedlicher Höhenlagen im Kanton, vgl. Zubler et al., 2014), dem Energiebedarf für Raumwärme (ECOSPEEDRegion, 2015) und den Energiekosten (AEV, 2014). Die Einsparung von Heizkosten errechnet sich aus der Multiplikation der Abnahme an HGT x Energieverbrauch/HGT x Kosten pro MWh (Monetarisierung). 134

Tabelle 42. Analyse Erwartungswert Hitzewelle. Der Erwartungswert entspricht dem Effekt zunehmender Hitze auf den Energieverbrauch zum Kühlen von Wohn- und Geschäftsräumen. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Szenarien der Kühlgradtage (KGT; Mittelwert über verschiedene Stationen unterschiedlicher Höhenlagen im Kanton), dem geschätzten Energiebedarf für die Kühlung von Räumen (entspricht dem Verhältnis KGT zu HGT, vgl. Zubler et al., 2014; ECOSPEEDRegion, 2015) und den Energiekosten (AEV, 2014). Die Erwartungswerte ergeben sich aus der Multiplikation der KGT 2060-schwach resp. 2060-stark x Energieverbrauch/Kühlgradtag x Kosten pro MWh. 134

Tabelle 43. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmenden Niederschlags im Winter und ansteigender Schneefallgrenze für Erträge der Wasserkraft. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Ergebnissen von Hänggi, 2011, respektive auf den Ergebnissen der Fallstudie zum KW Prättigau. Das vorliegende Modell geht davon aus, dass 50 % der Anlagen (resp. der produzierten Energie) um 5 % (2060-schwach) respektive um 10 % (2060-stark) gesteigert werden können..... 135

Tabelle 44. Analyse Erwartungswert Hitzewellen. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt von zunehmender Hitze (respektive stabiler und zunehmend langer Schönwetterphasen) auf den Sommerfrische-Tourismus. Grundlage für die Berechnung bilden die Einnahmen der Hotellerie und die Logiernachtzahlen im Sommer (AWT, 2013). Das Modell geht davon aus, dass während Hitzewelle 1 Prozent der Bevölkerung städtischer Agglomerationen (Annahme Hitzebetroffene) eine Nacht in Graubünden verbringt. Die Einnahmen dieser Sommerfrische-Suchenden würden sich gemäss unseren Annahmen mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) erhöhen. 136

Tabelle 45. Analyse Erwartungswert Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Temperaturen auf die Wintergäste in Hotels und von Bergbahnen. Das Modell basiert im Wesentlichen auf dem reduzierten Umsatz und den reduzierten Einnahmen in schneearmen Wintern (vgl. Abegg, 2013) und deren geschätzter Wiederkehrperiode. Die Einbusse würde sich gemäss unseren Annahmen mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) reduzieren.. 136

Tabelle 46. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Lawinen für den Umsatz von Bergbahnen und Hotellerie. Das Modell basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen von Nöthiger (2003), welcher den Effekt des Lawinenwinters 1999 auf den Tourismus untersuchte. Das Modell geht davon aus, dass sich die Umsatzeinbusse um 5 % bewegt, und dass sich dieses Risiko mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) reduzieren wird. 136

Tabelle 47. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Schneedruck an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 10 und 15 Jahren). 137

Tabelle 48. Analyse Erwartungswert Auftauen Permafrost. Der Erwartungswert bezieht sich auf den möglichen Effekt des auftauenden Permafrosts auf Infrastruktur/Gebäude. Das Modell basiert auf möglichen Schadenzahlen des BAV (2014) und lehnt sich an andere Kosten aus dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude. Es geht davon aus, dass die Schäden gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) zunehmen werden..... 137

- Tabelle 49. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Lawinenschäden an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren)..... 138*
- Tabelle 50. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Hochwasser an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren). 139*
- Tabelle 51. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Steinschlag/Felssturz/Bergsturz an Infrastruktur/Gebäuden. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 30 Jahren).... 139*
- Tabelle 52. Analyse Erwartungswert Sturm/Orkan. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch heftige Winde an Infrastruktur/Gebäuden. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10 und 15 Jahren)..... 140*
- Tabelle 53. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmenden Wasserdargebots für die Wasserversorgung im Winter. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) reduzieren wird. 141*
- Tabelle 54. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Trockenheit im Sommer auf die Wasserversorgung. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) erhöhen wird..... 141*
- Tabelle 55. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Hochwasser auf die Wasserversorgung, respektive Wasserqualität. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) erhöhen wird..... 141*
- Tabelle 56. Analyse Erwartungswerte aller untersuchten Gefahren und Effekte. Alle Gefahren und Effekte im Bereich Biodiversität sind jeweils aus dem Mittelwert über alle Auswirkungsbereiche berechnet. Es wurde jeweils der höhere Wert entweder der Chancen oder der Risiken übernommen und gespiegelt (Risiken und Chancen erreichen gleichhohe Beträge). Das Modell geht davon aus, dass jedes Risiko mit einer Chance verbunden ist, und umgekehrt. 142*

7 Anhang

7.1 Bewertung der Risiken und Chancen

7.1.1 Indikatoren und Monetarisierung

Tabelle 20. Übersicht zu den verwendeten Indikatoren und Ansätzen der Monetarisierung, in Anlehnung an den Methodenbericht EBP/SLF/WSL, 2013a. Die Berechnungen sind in Kapitel 7.3 jeweils erläutert.

	Indikator	Einheit	Beschreibung	Monetarisierung	Anwendung
Wirtschaft	Ertrag	Franken	Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren und Effekte zusätzlich anfallen, z. B. Steigerung der Produktivität.	1:1	Landwirtschaft Waldwirtschaft Energie Tourismus Wasserwirtschaft
	Aufwand	Franken	Aufwendungen, die infolge der berücksichtigten Gefahren und Effekte zusätzlich entstehen, bzw. Rückgang von Erträgen.	1:1	Landwirtschaft Waldwirtschaft
	Vermögensschäden, Bewältigungskosten	Franken	Schäden an Sachwerten (z. B. Gebäudeschäden infolge Naturgefahren) oder finanziellem Vermögen (z. B. Rückgang der Logiernächte im Tourismus).	1:1	Infrastruktur und Gebäude Tourismus
Gesellschaft	Erkrankte	Anzahl Betroffene	Anzahl Personen, welche durch Pollen-Allergien und vektorübertragenen Krankheiten betroffen sind.	Schätzwert	Gesundheit
	Evakuierte	Anzahl	Anzahl Personen, die infolge der berücksichtigten Gefahren und Effekte evakuiert werden.	10 000	Gesundheit
	Verletzte	Anzahl Personen	Alle Verletzungs- oder Krankheitsfälle, welche durch die entsprechende Gefahr/ den Effekt hervorgerufen werden.	100 000	Gesundheit
	Tote	Anzahl Todesfälle	Alle Todesfälle, welche durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden.	5 000 000	Gesundheit
Umwelt	Gene, Arten, Lebensräume	Franken	Relative Beurteilung der Veränderung von genetischer Vielfalt, Artenvielfalt und der Fläche wertvoller Biotope	1:1	Biodiversität

7.2 Klima in Graubünden

7.2.1 Normwerte und Indikatoren

Tabelle 21. Klimanormwerte der Temperatur (Jahresmittelwerte über die Jahre 1981 bis 2010) und des Niederschlags (Jahressummen gemittelt über die Jahre 1981 bis 2010) für eine Auswahl an Stationen im Kanton Graubünden. In der zweiten Spalte ist ihre Höhenlage angegeben. Quelle: MeteoSchweiz, 2013.

Standort	Höhenlage [m ü. M.]	Niederschlag [mm]	Temperatur [°C]
Grono	382	1476	12.4
Chur	556	849	9.7
Robbia	1078	1057	7.1
Disentis	1197	1101	6.7
Scuol	1304	706	5.5
Sta. Maria Val Müstair	1383	811	5.9
Davos	1594	1022	3.5
Arosa	1840	1365	3.6
Samedan	1709	713	2
Sils-Maria	1798	1011	2.3
Hinterrhein	1611	1598	2.9
San Bernardino	1639	1854	3.9
Buffalora	1968	793	0.7
Weissfluhjoch	2690	1411	-1.9
Passo Bernina	2307	1738	0.2
Piz Corvatsch	3305	900	-5.4

Tabelle 22. Klimaindikatoren (Jahressummen gemittelt über die Jahre 1981 bis 2010) und Modelldaten zu den Szenarien 2060-schwach und 2060-stark. Daten aus Zubler et al., 2014.

Standort	Frostwechsellage			Hitzetage 1981-2010			Tropennächte			Kühlgradtage			Heizgradtage			Vegetationsperiode		
	Szenario schwach	Szenario stark		Szenario schwach	Szenario stark		Szenario schwach	Szenario stark		Szenario schwach	Szenario stark		Szenario schwach	Szenario stark		Szenario schwach	Szenario stark	
Grono	35.7	18.7	5.8	15.5	29.7	61.4	1.9	16.9	42.7	202	460	698	2448	2049	1596	296	321	351
Chur	74.9	57.4	38.1	9.9	17.1	30.26	0.1	1.1	6.3	129	213	360	3380	2944	2420	255	282	313
Robbia	115	97	72	0.6	2.1	8.13	0	0	0	25	84	192	2901	3470	3959	229	242	269
Disentis	82	76.7	54	1	4.6	12.8	0	0.4	2.6	50	110	194	4110	3618	3015	229	242	285
Scuol	157	142	97	2.7	9.73	20.5	0	0	0	24.5	66	157	4559	4084	3511	214	224	241
Sta. Maria Val Müstair	105	99	82	0.1	0	4.3	0	0	0	12.1	37.8	103	4746	4198	3564	203	220	242
Davos	135	125	112	0	0	3.4	0	0	0	0	10.19	38	5692	5903	4375	164	185	212.8
Arosa	116	92	72	0	0	0	0	0	0	0	16.4	50	5416	4830	4123	170	198	231
Samedan	170	168	138.6	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	6388	5763	5032	152	167	188

7.2.2 Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags

Tabelle 23. Veränderungen der Temperatur gemäss den Szenarien 2060-schwach (entspricht RCP3PD) und 2060-stark (entspricht oberem Extremwert von A1B) für die Regionen Schweiz Nordost (CHNE) und die Südschweiz (CHS) über alle vier Jahreszeiten. Daten aus CH2011, 2011.

Saison	Szenario	Veränderung CHNE [° C]	Veränderung CHS [° C]
Winter	2060-schwach	1.38	1.46
	2060-stark	3.3	3.3
Frühling	2060-schwach	1.19	1.36
	2060-stark	2.76	3.07
Sommer	2060-schwach	1.55	1.73
	2060-stark	3.4	3.73
Herbst	2060-schwach	1.3	1.37
	2060-stark	3.02	3.11
Jahresmittel	2060-schwach	1.36	1.48
Jahresmittel	2060-stark	3.12	3.3

Tabelle 24. Veränderung des Niederschlags gemäss den Szenarien 2060-schwach (entspricht RCP3PD) und 2060-stark (entspricht oberem Extremwert von A1B für Winter und Frühling und unterem Extremwert von A1B für Sommer und Herbst) für die Regionen Schweiz Nordost (CHNE) und die Südschweiz (CHS). Daten aus CH2011, 2011.

Saison	Szenario	Veränderung CHNE [%]	Veränderung CHS [%]
Winter	2060-schwach	0	5.5
	2060-stark	14	32.4
Frühling	2060-schwach	2	-3.9
	2060-stark	14.2	11
Sommer	2060-schwach	-6.2	-7.9
	2060-stark	-19.2	-24.3
Herbst	2060-schwach	0.7	-2.2
	2060-stark	-15.7	-20.6
Jahresmittel	2060-schwach	-3.5	-1.5
Jahresmittel	2060-stark	-6.7	-8.5

7.3 Modelle

In den folgenden Kapiteln sind die Berechnungen der Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark aufgeführt. Die Ergebnisse werden für die Abbildungen in Kapitel 4 verwendet. Die Abbildungen zeigen dort jeweils die Differenz zwischen dem heutigen und dem zukünftigen Erwartungswert. Die in den folgenden Tabellen verwendeten Quotienten geben die Veränderung gegenüber dem heutigen Erwartungswert an. Sie sind in den Kapiteln 2.3.9 und 3.3. erläutert.

7.3.1 Gesundheit

Veränderung Mitteltemperatur

Tabelle 25. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von vektorübertragenen Krankheiten in einem wärmeren Klima. Die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark werden geschätzt in Anlehnung an die berechneten Gesundheitskosten (Mittelwert heute: minus 5.6 Mio. Franken).

	Definition Erwartungswert	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit			Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert in Anlehnung an übrige Erwartungswerte im Auswirkungsbereich Gesundheit	1.25	-7	1.5	-8
Erwartungswert			-7		-8

Hitzewelle

Tabelle 26. Analyse Erwartungswert Hitzewellen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Hitzewellen in einem wärmeren Klima. Grundlage für die Berechnung bilden die plus 7 % zusätzlichen Todesfälle während des Hitzesommers 2003 (vgl. Grize et al., 2005) und die Szenarien des Indikators Hitzetage verteilt auf die verschiedenen Höhenlagen des Kantons (Zubler et al., 2014). Die Anzahl Hitzetote 2060 berechnet sich aus der Multiplikation der zusätzlichen Todesopfer pro Hitzetag mit der erwarteten Anzahl Hitzetage.

	Bevölkerungs-zahl	Sterberate pro Jahr [%]	Todesfälle pro Tag	Zusätzliche Todesfälle durch Hitze [%]	Zusätzliche Todesfälle pro Hitzetag	Hitzetage Norm heute	Hitzetote Norm heute	Hitzetage 2060-schwach	Hitzetote 2060-schwach	Hitzetage 2060-stark	Hitzetote 2060-stark
Einheit	Anzahl		Anzahl				Anzahl		Anzahl		Anzahl
Tallagen (T)	91069	0.88	2.20	7	0.15	12.70	1.95	23.4	3.6	45.8	7.0
Montane Lagen (M)	60301	0.88	1.45	7	0.10	1.10	0.11	4.11	0.4	11.4	1.2
Subalpine Lagen (S)	42550	0.88	1.03	7	0.07	0.00	0.00	0	0.0	0.7	0.0
Summe							2.06		4.0		8.3
Monetarisierung (Mio. CHF)							-5		-5		-5
Erwartungswert							-10		-20		-41

Quellen

Bevölkerungszahl, Sterberate	GKB und AWI, 2013
Zusätzliche Todesfälle Hitze	Grize et al., 2005
Hitzetage Norm	MeteoSchweiz, 2013
Hitzetage 2003	Z'graggen, 2006
Hitzetage 2060 schwach	Zubler et al., 2014
Hitzetage 2060 stark	Zubler et al., 2014

Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher

Tabelle 27. Analyse Erwartungswert Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Verkehrsunfällen auf schnee- und eisbedeckten Strassen. Grundlage für die Berechnung bilden die Anzahl Verkehrsunfälle auf schnee- und eisbedeckten Strassen und die entsprechende Anzahl Verletzte und Todesopfer im Kanton Graubünden (vgl. Kantonspolizei Graubünden, 2014). Die Erwartungswerte 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich aus den Quotienten multipliziert mit dem Erwartungswert heute. Die Berechnung geht davon aus, dass die Hälfte aller Unfälle auf Schnee und Eis dem Strassenzustand geschuldet sind.

	Verletzte pro Jahr	Todesfälle pro Jahr	Verkehrsunfälle auf Schnee und Eis	Erwartungswert heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit	Anzahl	Anzahl	%	Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
	600	12	10		0.75		0.5	
Anteil auf Schnee- und eisbedeckten Strassen (20 %)	60	1.2						
Monetarisierung (Mio. CHF)	-0.1	-5						
Zwischenergebnis	-6	-6						
Erwartungswert				-12		-9		-6

Quellen

Verkehrsunfälle Kantonspolizei Graubünden, 2014

Lawinen

Tabelle 28. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Lawinen. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadensumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren).

	Todesfälle	Verletzte	Evakuierte	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Einheit	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
Monetarisierung (Mio. CHF)	-5	-0.1	-0.01							
1999	3	4	16	-15.6	50	-0.31	1.25	-0.39	1.5	-0.47
2000	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2001	0	3	0	-0.3	1	-0.30	0.75	-0.23	0.5	-0.15
2002	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2003	0	1	0	-0.1	1	-0.10	0.75	-0.08	0.5	-0.05
2004	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2005	2	0	0	-10.0	10	-1.00	0.75	-0.75	0.5	-0.50
2006	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2007	0	0	2	0.0	1	-0.02	0.75	-0.02	0.5	-0.01
2008	1	4	4	-5.4	5	-1.09	0.75	-0.82	0.5	-0.54
2009	0	1	3	-0.1	5	-0.03	0.75	-0.02	0.5	-0.01
2010	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2011	0	0	0	0.0	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2012	0	0	0	0.0	5	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
Erwartungswert						-1.7		-1.5		-1.2

Hochwasser

Tabelle 29. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Hochwasser. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadenssumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren).

	Todesfälle	Verletzte	Evakuierte	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	-5	-0.1	-0.01							
Einheit	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	0	0	0	0	4	0.00	1.1	0	1.25	0
2000	1	1	40	-5.5	10	-0.55	1.1	-0.61	1.25	-0.69
2001	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2002	1	2	243	-7.63	20	-0.38	1.1	-0.42	1.25	-0.48
2003	0	0	10	-0.1	1	-0.10	1.1	-0.11	1.25	-0.13
2004	0	0	20	-0.2	4	-0.05	1.1	-0.06	1.25	-0.06
2005	0	1	108	-1.18	30	-0.04	1.25	-0.05	1.5	-0.06
2006	1	0	20	-5.2	10	-0.52	1.1	-0.57	1.25	-0.65
2007	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2008	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2009	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2010	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2011	0	0	0	0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2012	0	0	0	0	4	0.00	1.1	0	1.25	0
Erwartungswert						-1.0		-1.1		-1.2

Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Tabelle 30. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert bezieht sich auf das gesundheitliche Risiko von Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr ergibt sich aus der Schadenssumme aus Toten, Verletzten und Evakuierten multipliziert mit dem jeweiligen monetarisierten Wert. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10, und 30 Jahren).

	Todesfälle	Verletzte	Evakuierte	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	-5	-0.1	-0.01							
Einheit	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2000	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2001	1	0	0	-5.0	5	-1.00	1.1	-1.10	1.25	-1.25
2002	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2003	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2004	0	2	0	-0.2	1	-0.20	1.1	-0.22	1.25	-0.25
2005	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2006	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2007	0	0	14	-0.1	1	-0.14	1.1	-0.15	1.25	-0.18
2008	1	1	0	-5.1	5	-1.02	1.1	-1.12	1.25	-1.28
2009	0	0	0	0.0	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2010	0	1	0	-0.1	1	-0.10	1.1	-0.11	1.25	-0.13
2011	3	2	2	-15.2	10	-1.52	1.1	-1.67	1.25	-1.90
2012	5	5	5	-25.6	30	-0.85	1.25	-1.06	1.5	-1.28
Erwartungswert						-3.4		-3.9		-4.5

7.3.2 Landwirtschaft

Veränderung Mitteltemperatur

Tabelle 31. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf die Chance ansteigender Erträge in der Landwirtschaft. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem Mittelwert der berechneten Risiken, multipliziert mit minus 1). Der Erwartungswert 2060-stark entspricht dem Mittelwert der berechneten Risiken 2060-stark.

	Definition Erwartungswert	Erwartungswert 2060-schwach	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF	Mio. CHF
Definition	Schätzwert in Anlehnung an übrige Erwartungswerte im Auswirkungsbereich Landwirtschaft (mittel)	0.14	0.22
Erwartungswert		0.14	0.22

Frost

Tabelle 32. Analyse Erwartungswert Frost. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Frost und seiner Auswirkung auf Erträge in der Landwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass ein erheblicher Frostschaden (Wiederkehrperiode 10 Jahre) Ertragseinbussen an Reben und Obstkulturen im Umfang von 10 % erreichen wird. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem Produkt aus dem Erwartungswert heute und einer geringen Abnahme der Frostereignisse (Quotient 0.9), der Erwartungswert 2060-stark entspricht dem Produkt aus dem heutigen Erwartungswert und einem mässigen (Quotient 0.75).

	Ausgangsgrössen	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF)	-0.0081							
Einheit	ha	Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Rebflächen und Obstkulturen	500							
Ertragseinbusse Frost	50	-0.4	10	-0.04	0.9	-0.04	0.75	-0.03
Erwartungswert				-0.04		-0.04		-0.03

Quellen

Produktionswert Landwirtschaft : BFS, 2011
Fläche Landwirtschaft GR : BFS, 2014d

Trockenheit

Tabelle 33. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Trockenheit und dessen Auswirkung auf Erträge in der Landwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass eine erhebliche Trockenheit (Wiederkehrperiode 10 Jahre) Ertragseinbussen an der gesamten Landwirtschaftsfläche im Umfang von 10 % erreichen wird. Die Erwartungswerte 2060 entsprechen einer geringen (Quotient 1.1) bis mässigen (Quotient 1.25) Zunahme der Schäden infolge von Trockenheit.

	Ausgangsgrössen	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF)	-0.00081							
Einheit	ha	Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Bewirtschaftete Fläche	54000							
Ertragseinbüsse Trockenheit	5400	-4	10	-0.44	1.1	-0.48	1.25	-0.55
Erwartungswert				-0.44		-0.48		-0.55

Quellen

Produktionswert Landwirtschaft : BFS, 2011

Fläche Landwirtschaft : BFS, 2014d

Hochwasser

Tabelle 34. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Hochwasser für die Landwirtschaft. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.0045 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren).

	Schadenfläche	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF/ha)	-0.0045							
Einheit	ha	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	8.4	-0.04	4	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2000	7.6	-0.03	10	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2001	4.5	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2002	25.4	-0.11	20	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2003	3.5	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.02
2004	1.4	-0.01	4	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2005	69.7	-0.31	30	-0.01	1.25	-0.01	1.5	-0.02
2006	32.6	-0.15	10	-0.01	1.1	-0.02	1.25	-0.02
2007	0.0	0.00	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2008	1.8	-0.01	1	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2009	22.9	-0.10	1	-0.10	1.1	-0.11	1.25	-0.13
2010	0.7	0.00	1	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2011	4.8	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2012	1.5	-0.01	4	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
Erwartungswert				-0.05		-0.06		-0.07

7.3.3 Waldwirtschaft

Veränderung Mitteltemperatur

Tabelle 35. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert bezieht sich auf zunehmendes Wachstum der Bäume und die gesteigerte Vielfalt des Sortiments. Als Ausgangsgrösse dient der Mittelwert der berechneten Risiken des Auswirkungsbereichs (multipliziert mit minus 1). Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht einer geringen Zunahme, der Erwartungswert 2060-stark einer mässigen Zunahme des Betrags der Ausgangsgrösse.

	Definition Erwartungswert	Ausgangsgrösse	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert in Anlehnung an übrige Erwartungswerte im Auswirkungsbereich Waldwirtschaft (mittel)	0.17	1.1	0.18	1.25	0.21
Erwartungswert				0.18		0.21

Trockenheit

Tabelle 36. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Trockenheit und dessen Auswirkung auf Erträge in der Waldwirtschaft. Das Modell geht davon aus, dass eine grosse Trockenheit (Wiederkehrperiode 20 Jahre) eine Zwangsnutzung von einem Prozent der jährlichen Nutzung erreicht. Der Erwartungswert 2060-schwach entspricht dem 1.1-fachen Betrag (geringe Zunahme), der Erwartungswert 2060-stark rechnet mit einer mässigen Zunahme (Quotient 1.25) von Schäden durch Trockenheit.

	Ausgangsgrössen	Schadenwert	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF)	-0.00005					
Einheit	m3	Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Jährliche Nutzung	400000					
Zwangsnutzung Trockenheit	4000	-0.2	1.1	-0.22	1.25	-0.28
Erwartungswert		-0.200		-0.22		-0.28

Quellen

Jährliche Nutzung : AWN, 2014c

Monetarisierung : Annahme

Volumen Zwangsnutzung Trockenheit: Annahme

Lawinen

Tabelle 37. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen wegen Waldschäden durch Lawinen. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten gemäss AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren).

	Schadenfläche	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF/ha)	-0.009							
Einheit	ha	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	72.9	-0.66	50	-0.01	1.25	-0.02	1.5	-0.02
2000	2.3	-0.02	1	-0.02	0.75	-0.02	0.5	-0.01
2001	3.6	-0.03	1	-0.03	0.75	-0.02	0.5	-0.02
2002	0.1	0.00	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2003	18.6	-0.17	1	-0.17	0.75	-0.13	0.5	-0.08
2004	1.9	-0.02	1	-0.02	0.75	-0.01	0.5	-0.01
2005	1.8	-0.02	10	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2006	18.2	-0.16	1	-0.16	0.75	-0.12	0.5	-0.08
2007	0.0	0.00	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2008	2.8	-0.03	5	-0.01	0.75	0.00	0.5	0.00
2009	50.9	-0.46	5	-0.09	0.75	-0.07	0.5	-0.05
2010	0.0	0.00	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2011	0.0	0.00	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2012	5.3	-0.05	5	-0.01	0.75	-0.01	0.5	0.00
Erwartungswert				-0.09		-0.08		-0.06

Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Tabelle 38. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen wegen Waldschäden durch Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10, und 30 Jahren).

	Schaden	Schadenwert	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF/ha)	-0.009							
Einheit	ha	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	0.0	0.00	1	0.00	1.1	0	1.25	0
2000	1.0	-0.01	1	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2001	1.5	-0.01	5	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2002	4.3	-0.04	1	-0.04	1.1	-0.04	1.25	-0.05
2003	11.5	-0.10	1	-0.10	1.1	-0.11	1.25	-0.13
2004	0.7	-0.01	1	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2005	2.4	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2006	1.1	-0.01	1	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2007	9.2	-0.08	1	-0.08	1.1	-0.09	1.25	-0.10
2008	2.9	-0.03	5	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2009	0.5	0.00	1	0.00	1.1	0.00	1.25	-0.01
2010	1.0	-0.01	1	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2011	0.3	0.00	10	0.00	1.1	0.00	1.25	0.00
2012	4.5	-0.04	30	0.00	1.25	0.00	1.5	0.00
Erwartungswert				-0.03		-0.04		-0.04

Waldbrand

Tabelle 39. Analyse Erwartungswert Waldbrand. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen durch Waldbrand. Der Schadenwert ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenfläche (Daten aus AWN, 2014a) mit dem monetarisierten Schadenwert von 0.009 Mio. CHF/ha. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division des Schadenwertes durch die geschätzte Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, und 50 Jahren).

	Schaden	Summe	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF/ha)	-0.009							
Einheit	ha	Mio. CHF	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1992	2.5	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1993		0.00	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1994	71.1	-0.64	10	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1995	2.1	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1996	42.7	-0.38	10	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1997	397.3	-3.58	50	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1998	3.3	-0.03	4	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
1999	0.2	0.00	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2000	0.4	0.00	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2001	0.1	0.00	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2002	6.2	-0.06	4	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2003	46.7	-0.42	10	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2004	1.1	-0.01	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2005	1.7	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2006	2.5	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2007	1.9	-0.02	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2008	19.9	-0.18	4	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2009	3.3	-0.03	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2010	10.7	-0.10	4	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2011	7.0	-0.06	4	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
2012	1.1	-0.01	1	-0.02	1.1	-0.02	1.25	-0.03
Erwartungswert				-0.09		-0.10		-0.11

Sturm/Orkan

Tabelle 40. Analyse Erwartungswert Sturm/Orkan. Der Erwartungswert entspricht dem Risiko von Ertragsminderungen durch heftige Winde von Sturm- oder Orkangrösse. Die Windwürfe und Windbrüche durch den Orkan Vivian vom 27. Februar 1990 waren das bisher grösste Waldschaden-Ereignis in Graubünden. Der Orkan Vivian lieferte 730 000 Kubikmeter Schadholz, was 220 Prozent einer jährlichen Nutzung entspricht (Kanton Graubünden, 2014b). Geht man von einem 100-jährlichen Ereignis aus, resultiert ein jährlicher Erwartungswert von minus 0.37 Mio. CHF. Die Erwartungswerte schwach und stark resultieren aus der Multiplikation des Schadenerwartungswertes mit 1.1 (geringe Zunahme).

	Ausgangsgrössen	Wiederkehrperiode	Schadenwert	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF)	-0.00005						
Einheit	m ³		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Vivian, Sturmholz	730000	100	-0.37	1.1	-0.40	1.1	-0.40
Erwartungswert			-0.37		-0.40		-0.40

Quellen

Volumen Sturmholz Vivian: Kanton Graubünden, 2014b

Wiederkehrperiode Vivian: Annahme

7.3.4 Energie

Veränderung Mitteltemperatur

Tabelle 41. Analyse Erwartungswert Veränderung Mitteltemperatur. Der Erwartungswert entspricht dem Effekt steigender Mitteltemperaturen auf den Heizölverbrauch zum Heizen von Wohn- und Geschäftsräumen. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Szenarien der Heizgradtage (HGT, Mittelwert über verschiedene Stationen unterschiedlicher Höhenlagen im Kanton, vgl. Zubler et al., 2014), dem Energiebedarf für Raumwärme (ECOSPEEDRegion, 2015) und den Energiekosten (AEV, 2014). Die Einsparung von Heizkosten errechnet sich aus der Multiplikation der Abnahme an HGT x Energieverbrauch/HGT x Kosten pro MWh (Monetarisierung).

	Energieverbrauch Raumwärme Haushalte	Heizgradtage heute	Energieverbrauch pro Heizgradtag	Kosten Energie Raumwärme Norm	Heizgradtage 2060-schwach	Reduktion Kosten Energie Raumwärme 2060-schwach	Heizgradtage 2060-stark	Reduktion Kosten Energie Raumwärme 2060-stark
Einheit	MWh/a	Anzahl	MWh/HGT	Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF
Betrag	1547733	4404	351	-155	3876		3303	
Monetarisierung (Mio. CHF)						-0.0001		-0.0001
Erwartungswert						19		39

Quellen

Energieverbrauch : ECOSPEEDRegion, 2015 (Jahr 2010)

Heizgradtage, Szenarien Heizgradtage : Zubler, 2014 (Mittelwert über die Stationen Grono, Chur, Robbia, Disentis, Scuol, Sta Maria, Davos, Arosa, Samedan)

Energiekosten : AEV, 2015

Hitzewelle

Tabelle 42. Analyse Erwartungswert Hitzewelle. Der Erwartungswert entspricht dem Effekt zunehmender Hitze auf den Energieverbrauch zum Kühlen von Wohn- und Geschäftsräumen. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Szenarien der Kühlgradtage (KGT; Mittelwert über verschiedene Stationen unterschiedlicher Höhenlagen im Kanton), dem geschätzten Energiebedarf für die Kühlung von Räumen (entspricht dem Verhältnis KGT zu HGT, vgl. Zubler et al., 2014; ECOSPEEDRegion, 2015) und den Energiekosten (AEV, 2014). Die Erwartungswerte ergeben sich aus der Multiplikation der KGT 2060-schwach resp. 2060-stark x Energieverbrauch/Kühlgradtag x Kosten pro MWh.

	Energieverbrauch Kühlen Haushalte	Kühlgradtage heute	Energieverbrauch pro Kühlgradtag	Kosten Energie Kühlen Räume Norm	Kühlgradtage 2060-schwach	Kosten Kühlen Räume 2060-schwach	Kühlgradtage 2060-stark	Kosten Kühlen Räume 2060-stark
Einheit	MWh/a	Anzahl	MWh/KGT	Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF
Betrag	25796	74	349	-2.6	125		201	
Monetarisierung (Mio. CHF)						-0.0001		-0.0001
Erwartungswert						-4.4		-7.0

Quellen

Energieverbrauch : Annahme 1/60 des Heizverbrauchs (entspricht Verhältnis Kühlgradtage zu Heizgradtage; Heizverbrauch: ECOSPEEDRegion, 2015 (Jahr 2010))

Kühlgradtage, Heizgradtage, Szenarien : Zubler, 2014 (Mittelwert über die Stationen Grono, Chur, Robbia, Disentis, Scuol, Sta Maria, Davos, Arosa, Samedan)

Energiekosten : AEV, 2015

Änderung Niederschlagsregime

Tabelle 43. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmenden Niederschlags im Winter und ansteigender Schneefallgrenze für Erträge der Wasserkraft. Die Annahmen für die Berechnung basieren im Wesentlichen auf den Ergebnissen von Hänggi, 2011, respektive auf den Ergebnissen der Fallstudie zum KW Prättigau. Das vorliegende Modell geht davon aus, dass 50 % der Anlagen (resp. der produzierten Energie) um 5 % (2060-schwach) respektive um 10 % (2060-stark) gesteigert werden können.

		Ausgangsgrösse	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Monetarisierung (Mio. CHF)	0.1					
Einheit	GWh	Mio. CHF	%	Mio. CHF	%	Mio. CHF
Produktion Wasserkraft GR	7300					
Produktion 50 % aller Anlagen	3650	365	5	18.25	10	36.5
Erwartungswert				18		37

Quellen

Produktion Wasserkraft GR : Regierung des Kantons Graubünden, 2012

Produktionssteigerung 2050 : Hänggi, 2011

Anteil steigerungsfähige Kraftwerke (Volumen) : Annahme

7.3.5 Tourismus

Hitzewelle

Tabelle 44. Analyse Erwartungswert Hitzewellen. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt von zunehmender Hitze (respektive stabiler und zunehmend langer Schönwetterphasen) auf den Sommerfrische-Tourismus. Grundlage für die Berechnung bilden die Einnahmen der Hotellerie und die Logiernachtzahlen im Sommer (AWT, 2013). Das Modell geht davon aus, dass während Hitzewelle 1 Prozent der Bevölkerung städtischer Agglomerationen (Annahme Hitzebetroffene) eine Nacht in Graubünden verbringt. Die Einnahmen dieser Sommerfrische-Suchenden würden sich gemäss unseren Annahmen mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) erhöhen.

	Einnahmen Hotel- und Kurbetriebe GR Sommer	Logiernächte Sommer GR	Bevölkerung städtischer Agglomerationen CH	Annahme Anteil Sommerfrische-Suchender	Einnahmen durch Sommerfrische-Suchende heute	Quotient Zunahme Sommerfrische-Suchender 2060-schwach	Zunahme Logiernächte dank Sommerfrische-Suchender 2060-schwach	Quotient Veränderung Schneearmut 2060-stark	Zunahme Logiernächte dank Sommerfrische-Suchender 2060-stark
Einheit	Mio. CHF	Anzahl (Mio.)	Anzahl (Mio.)	%	Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Betrag	212	2.3	5.9	1.0	5.4	1.25	6.80	1.5	8.2
Erwartungswert					5.4		7		8.2

Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher

Tabelle 45. Analyse Erwartungswert Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Temperaturen auf die Wintergäste in Hotels und von Bergbahnen. Das Modell basiert im Wesentlichen auf dem reduzierten Umsatz und den reduzierten Einnahmen in schnee-armen Wintern (vgl. Abegg, 2013) und deren geschätzter Wiederkehrperiode. Die Einbusse würde sich gemäss unseren Annahmen mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) reduzieren.

	Umsatz Bergbahnen GR Winter	Einnahmen Hotel- und Kurbetriebe GR Winter	Einbusse schneearme Winter heute	Wiederkehrperiode	Einbusse wegen Schneearmut heute	Quotient Veränderung Schneearmut 2060-schwach	Einbusse Schneearmut 2060-schwach	Quotient Veränderung Schneearmut 2060-stark	Einbusse Schneearmut 2060-stark
Einheit	Mio. CHF	Mio. CHF	%	Jahr	Mio. CHF		Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF
Betrag	219	365	20	10	-12	1.25	-14.6	1.5	-17.5
Erwartungswert							-15		-18

Quellen

Einbusse schneearme Winter : Abegg, 2013
 Einnahmen Hotel- und Kurbetriebe Wintersaison 2013/2014 [CHF] : BFS, 2014
 Umsatz Bergbahnen GR Winter Durchschnitt 2007 bis 2012 : BBGR, 2013
 Wiederkehrperiode schneearme Winter : geschätzt

Lawinen

Tabelle 46. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Lawinen für den Umsatz von Bergbahnen und Hotellerie. Das Modell basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen von Nöthiger (2003), welcher den Effekt des Lawinenwinters 1999 auf den Tourismus untersuchte. Das Modell geht davon aus, dass sich die Umsatzeinbusse um 5 % bewegt, und dass sich dieses Risiko mässig (Quotient 1.25 für 2060-schwach) bis erheblich (Quotient 1.5 für 2060-stark) reduzieren wird.

	Umsatz Bergbahnen GR Winter	Einnahmen Hotel- und Kurbetriebe GR Winter	Einbusse wegen Lawinengefahr heute	Wiederkehrperiode	Einbusse wegen Lawinengefahr heute	Quotient Veränderung Lawinenrisiko 2060-schwach	Einbusse wegen Lawinengefahr 2060-schwach	Quotient Veränderung Lawinenrisiko 2060-stark	Einbusse wegen Lawinengefahr 2060-stark
Einheit	Mio. CHF	Mio. CHF	%	Jahr	Mio. CHF		Mio. CHF	Anzahl	Mio. CHF
Betrag	219	365	5	50	-0.6	0.75	-0.4	0.5	-0.3
Erwartungswert					-0.6		-0.4		-0.3

Quellen

Einbusse Lawinenwinter 1999 : Annahme in Anlehnung an Nöthiger, 2003
 Einnahmen Hotel- und Kurbetriebe Wintersaison 2013/2014 [CHF] : BFS, 2014
 Umsatz Bergbahnen GR Winter Durchschnitt 2007 bis 2012 : BBGR, 2013

7.3.6 Infrastruktur und Gebäude

Änderung Niederschlagsregime

Tabelle 47. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Schneedruck an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 10 und 15 Jahren).

	Schadenwert	Index	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	1:1							
Einheit	Mio. CHF	-	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	-13.25	90.4	15	-0.98	1.1	-1.08	1.25	-1.22
2000	-0.42	91.8	1	-0.46	0.9	-0.41	0.75	-0.34
2001	-3.60	92.7	10	-0.39	1.1	-0.43	1.25	-0.49
2002	-0.04	93.3	1	-0.04	0.9	-0.04	0.75	-0.03
2003	-0.06	93.9	1	-0.06	0.9	-0.06	0.75	-0.05
2004	-0.03	94.6	1	-0.04	0.9	-0.03	0.75	-0.03
2005	-0.13	95.8	1	-0.14	0.9	-0.13	0.75	-0.11
2006	-0.39	96.8	1	-0.41	0.9	-0.37	0.75	-0.30
2007	-0.03	97.5	1	-0.03	0.9	-0.03	0.75	-0.02
2008	-0.49	99.8	1	-0.49	0.9	-0.44	0.75	-0.37
2009	-3.58	99.3	10	-0.36	1.1	-0.40	1.25	-0.45
2010	-0.12	100.0	1	-0.12	0.9	-0.11	0.75	-0.09
2011	-0.37	100.3	1	-0.36	0.9	-0.33	0.75	-0.27
2012	-13.99	99.6	15	-0.94	1.1	-1.03	1.25	-1.17
Erwartungswert				-1.5		-1.7		-1.8

Auftauen Permafrost

Tabelle 48. Analyse Erwartungswert Auftauen Permafrost. Der Erwartungswert bezieht sich auf den möglichen Effekt des auftauenden Permafrosts auf Infrastruktur/Gebäude. Das Modell basiert auf möglichen Schadenzahlen des BAV (2014) und lehnt sich an andere Kosten aus dem Auswirkungsbereich Infrastruktur/Gebäude. Es geht davon aus, dass die Schäden gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) zunehmen werden.

	Definition Erwartungswert	Erwartungswert heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert in Anlehnung an übrige Erwartungswerte im Auswirkungsbereich Infrastruktur/ Gebäude (klein)	-0.31	1.1	-0.34	1.25	-0.39
Erwartungswert		-0.31		-0.34		-0.39

Lawinen

Tabelle 49. Analyse Erwartungswert Lawinen. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko von Lawinenschäden an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 50 Jahren).

	Schadenwert	Index	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060 stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	1:1							
Einheit	Mio. CHF	-	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	-7.47	90.4	50	-0.17	1.25	-0.21	1.5	-0.25
2000	-0.14	91.8	1	-0.16	0.75	-0.12	0.5	-0.08
2001	-0.06	92.7	1	-0.06	0.75	-0.05	0.5	-0.03
2002	0.00	93.3	1	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2003	-0.14	93.9	1	-0.15	0.75	-0.11	0.5	-0.07
2004	-0.01	94.6	1	-0.01	0.75	0.00	0.5	0.00
2005	0.00	95.8	10	0.00	0.75	0.00	0.5	0.00
2006	-0.03	96.8	1	-0.03	0.75	-0.02	0.5	-0.02
2007	-0.05	97.5	1	-0.05	0.75	-0.04	0.5	-0.02
2008	-0.06	99.8	5	-0.01	0.75	-0.01	0.5	-0.01
2009	-0.45	99.3	5	-0.09	0.75	-0.07	0.5	-0.05
2010	-0.02	100.0	1	-0.02	0.75	-0.01	0.5	-0.01
2011	-0.04	100.3	1	-0.04	0.75	-0.03	0.5	-0.02
2012	-1.37	99.6	5	-0.27	0.75	-0.21	0.5	-0.14
Erwartungswert				-0.35		-0.34		-0.34

Hochwasser

Tabelle 50. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Hochwasser an Gebäuden und Infrastruktur. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10, 20 und 30 Jahren).

	Schadenwert	Indexierung	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	1:1							
Einheit	Mio. CHF	-	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
1999	-2.9	90.37	4	-0.79	1.1	-0.87	1.25	-0.99
2000	-1.4	91.78	10	-0.15	1.1	-0.17	1.25	-0.19
2001	-0.4	92.68	1	-0.39	1.1	-0.43	1.25	-0.49
2002	-13.5	93.28	20	-0.72	1.1	-0.79	1.25	-0.90
2003	-0.2	93.88	1	-0.22	1.1	-0.24	1.25	-0.27
2004	-0.6	94.58	4	-0.17	1.1	-0.19	1.25	-0.21
2005	-22.5	95.79	30	-0.78	1.25	-0.98	1.5	-1.17
2006	-0.4	96.79	10	-0.05	1.1	-0.05	1.25	-0.06
2007	-0.1	97.49	1	-0.11	1.1	-0.13	1.25	-0.14
2008	-0.4	99.80	1	-0.39	1.1	-0.43	1.25	-0.49
2009	-0.2	99.30	1	-0.23	1.1	-0.25	1.25	-0.29
2010	-0.4	100.00	1	-0.38	1.1	-0.42	1.25	-0.48
2011	-0.1	100.30	1	-0.12	1.1	-0.13	1.25	-0.15
2012	-0.9	99.60	4	-0.22	1.1	-0.24	1.25	-0.28
Erwartungswert				-2.3		-2.6		-3.0

Steinschlag/Felssturz/Bergsturz

Tabelle 51. Analyse Erwartungswert Steinschlag/Felssturz/Bergsturz. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch Steinschlag/Felssturz/Bergsturz an Infrastruktur/Gebäuden. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 5, 10 und 30 Jahren).

	Schadenwert	Index	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	1:1							
Einheit	Mio. CHF	-	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
Jahr								
1999	-0.36	90.4	1	-0.39	1.1	-0.43	1.25	-0.49
2000	-1.19	91.8	1	-1.30	1.1	-1.42	1.25	-1.62
2001	-0.02	92.7	5	0.00	1.1	0.00	1.25	-0.01
2002	-0.57	93.3	1	-0.61	1.1	-0.67	1.25	-0.77
2003	-0.07	93.9	1	-0.07	1.1	-0.08	1.25	-0.09
2004	-0.07	94.6	1	-0.07	1.1	-0.08	1.25	-0.09
2005	-0.05	95.8	1	-0.05	1.1	-0.06	1.25	-0.06
2006	-0.10	96.8	1	-0.10	1.1	-0.11	1.25	-0.13
2007	-1.06	97.5	1	-1.09	1.1	-1.20	1.25	-1.36
2008	-0.23	99.8	5	-0.05	1.1	-0.05	1.25	-0.06
2009	-0.13	99.3	1	-0.13	1.1	-0.14	1.25	-0.16
2010	-0.05	100.0	1	-0.05	1.1	-0.06	1.25	-0.07
2011	-0.10	100.3	10	-0.01	1.1	-0.01	1.25	-0.01
2012	-0.02	99.6	30	0.00	1.25	0.00	1.5	0.00
Erwartungswert				-0.4		-0.5		-0.5

Sturm/Orkan

Tabelle 52. Analyse Erwartungswert Sturm/Orkan. Der Erwartungswert bezieht sich auf das Risiko für Schäden durch heftige Winde an Infrastruktur/Gebäuden. Der jeweilige Schadenwert in einem Jahr basiert auf den Daten der GVG. Der Erwartungswert heute ergibt sich aus der Division mit dem Faktor der Indexierung (Indexierung bezieht sich auf 2010) und durch Division mit der geschätzten Wiederkehrperiode des entsprechenden Schadenwertes. Die Erwartungswerte für die beiden Szenarien 2060-schwach und 2060-stark errechnen sich durch Multiplikation mit den entsprechenden Quotienten. Die Quotienten sind unterschiedlich, weil der Einfluss auf die Ereignisse je nach Wiederkehrperiode unterschiedlich ist. Der resultierende totale Erwartungswert ergibt sich aus der Summe der Mittelwerte der Erwartungswerte der jeweiligen Wiederkehrperioden (im vorliegenden Fall Wiederkehrperioden von 1, 4, 10 und 15 Jahren).

	Schadenwert	Index	Wiederkehrperiode	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode heute	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert pro Wiederkehrperiode 2060-stark
Monetarisierung	1:1							
Einheit	Mio. CHF	-	Jahre	Mio. CHF	-	Mio. CHF	-	Mio. CHF
Jahr								
1999	-0.66	90.4	4	-0.18	0.9	-0.17	0.9	-0.17
2000	-0.66	91.8	4	-0.18	0.9	-0.16	0.9	-0.16
2001	-0.31	92.7	1	-0.34	0.9	-0.30	0.9	-0.30
2002	-0.31	93.3	1	-0.33	0.9	-0.30	0.9	-0.30
2003	-1.31	93.9	10	-0.14	1.1	-0.15	1.25	-0.17
2004	-0.22	94.6	1	-0.23	0.9	-0.21	0.9	-0.21
2005	-0.61	95.8	4	-0.16	0.9	-0.14	0.9	-0.14
2006	-0.16	96.8	1	-0.17	0.9	-0.15	0.9	-0.15
2007	-0.32	97.5	1	-0.33	0.9	-0.30	0.9	-0.30
2008	-0.72	99.8	4	-0.18	0.9	-0.16	0.9	-0.16
2009	-0.45	99.3	1	-0.45	0.9	-0.41	0.9	-0.41
2010	-0.12	100.0	1	-0.12	0.9	-0.11	0.9	-0.11
2011	-0.42	100.3	1	-0.42	0.9	-0.38	0.9	-0.38
2012	-2.79	99.6	15	-0.19	1.1	-0.21	1.25	-0.23
Erwartungswert				-0.80		-0.79		-0.83

7.3.7 Wasserwirtschaft

Änderung Niederschlagsregime

Tabelle 53. Analyse Erwartungswert Änderung Niederschlagsregime. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmenden Wasserdargebots für die Wasserversorgung im Winter. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) reduzieren wird.

	Definition Erwartungswert	Ausgangsgrösse	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert	-0.050	0.9	-0.045	0.75	-0.038
Erwartungswert				-0.045		-0.038

Trockenheit

Tabelle 54. Analyse Erwartungswert Trockenheit. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Trockenheit im Sommer auf die Wasserversorgung. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) erhöhen wird.

	Definition Erwartungswert	Ausgangsgrösse	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert	-0.200	1.1	-0.220	1.25	-0.250
Erwartungswert				-0.22		-0.25

Hochwasser

Tabelle 55. Analyse Erwartungswert Hochwasser. Der Erwartungswert bezieht sich auf den Effekt zunehmender Hochwasser auf die Wasserversorgung, respektive Wasserqualität. Die Ausgangsgrösse ist geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Risiko gering (Quotient 1.1 für 2060-schwach) bis mässig (Quotient 1.25 für 2060-stark) erhöhen wird.

	Definition Erwartungswert	Ausgangsgrösse	Quotient 2060-schwach	Erwartungswert 2060-schwach	Quotient 2060-stark	Erwartungswert 2060-stark
Einheit		Mio. CHF		Mio. CHF		Mio. CHF
Definition	Schätzwert	-0.050	1.1	-0.055	1.25	-0.063
Erwartungswert				-0.055		-0.063

7.3.8 Biodiversität

Alle untersuchten Gefahren und Effekte

Tabelle 56. Analyse Erwartungswerte aller untersuchten Gefahren und Effekte. Alle Gefahren und Effekte im Bereich Biodiversität sind jeweils aus dem Mittelwert über alle Auswirkungsbereiche berechnet. Es wurde jeweils der höhere Wert entweder der Chancen oder der Risiken übernommen und gespiegelt (Risiken und Chancen erreichen gleichhohe Beträge). Das Modell geht davon aus, dass jedes Risiko mit einer Chance verbunden ist, und umgekehrt.

	Veränderung Mitteltemperatur	Frost	Änderung Niederschlagsregime	Trockenheit	Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Hochwasser	Waldbrand
Wertung Risiken/Chancen quantitativ	gross	klein	gross	gross	gross	klein	mittel	klein
Monetarisierung (Mio. CHF)	20	0.1	20	20	20	0.1	4	0.1
Quotient 2060- schwach	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Erwartungswert 2060- schwach	22	0.11	22	22	22	0.11	4.4	0.11
Quotient 2060-stark	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Erwartungswert 2060- stark	25	0.125	25	25	25	0.125	5	0.125

Ausgangsgrössen

Minimum	0.1
Mittelwert	4
Maximum	20