Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz:

Fallstudie Kanton Tessin

Arbeitsgruppe bestehend aus:

(Projektleitung)

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

IMPRESSUM

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern.
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer IFEC ingegneria SA (Projektleitung), Via Lischedo 9, 6802 Rivera (+41 (0) 91 935 97 00, info@ifec.ch, www.ifec.ch)
Bergwelten 21 AG, Bahnhofstr. 8a, 7260 Davos Dorf (+41 (0) 81 413 03 50, info@bergwelten21.ch, www.bergwelten21.ch)
InnovaBridge Foundation, Contrada al Lago 19, 6987 Caslano (+41 (0) 91 606 63 73, info@innovabridge.org, www.innovabridge.org)
Consavis SA, via G.B. Pioda 5, 6900 Lugano (+41 (0) 91 910 90 50, consavis@consavis.ch, www.consavis.ch)
RIBO architecture Sagl, Via Monte Ceneri 67, 6593 Cadenazzo (+41 (0) 91 930 62 20, info@ribo-architecture.ch, www.ribo-architecture.ch)

Autoren Dr. Angelo Bernasconi (capoprogetto), Dr. Dario Bozzolo, Stefano Baggi, Dr. Andrea Ciani, Agnese Martignoni, Nicola Notari, Michael Fischli (IFEC ingegneria SA), Dr. Veronika Stöckli (Bergwelten 21 AG), Dr. Nicola Schönenberger, Ernst Schaltegger (InnovaBridge Foundation), Michele Passardi (Consavis SA) und Christian Rivola (RIBO architecture Sagl).

Begleitung Carla Gross, Roland Hohmann, Pamela Köllner-Heck (BAFU) und Mirco Mirco Moser (Ufficio dell'aria, del clima e delle energie rinnovabili, Ct. Ticino).

Reviewers Lorenzo Besomi (Ufficio natura e paesaggio, Ct. Ticino), Martine Bouvier Gallacchi (Ufficio del medico cantonale, Ct. Ticino), David Bresch (SwissRe), Timo Cadlolo (Ticino Turismo), Roland David (Sezione forestale, Ct. Ticino), Paul Filliger (BAFU), Patrizio Ghidossi (Ufficio coordinamento CMSC Ticino), Sven Kotlarski (MeteoSchweiz), Christian Küchli (Ufficio federale dell'ambiente), Juliette Lerch (BAFU), Daniela Linder Basso (Ufficio consulenza agricola, Ct. Ticino), Mark Lininger (MeteoSchweiz), Sandro Pitozzi (Ufficio dell'energia, Ct. Ticino), Filippo Rampazzi (Museo cantonale di storia naturale), Andrea Salvetti (Ufficio corsi d'acqua, Ct. Ticino), Chrisoph Schlumpf (SECO), Mauro Togni (Ufficio della gestione dei rischi ambientali e del suolo, Ct. Ticino), Mauro Tonolla (Laboratorio di microbiologia applicata), Damiano Urbinello (BAG), Mauro Veronesi (Ufficio protezione acque e approvvigionamento idrico, Ct. Ticino), Gian-Reto Walther (BAFU), Martin Wüthrich (Schweizerische Versicherungsverband) und Samuel Zahner (BAFU).

Februar 2016

Hinweis Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst**. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich**.

DANK

Diese Studie ist das Resultat einer Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Ämtern und Personen. Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Personen und Institutionen bedanken, welche an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren.

Ein spezieller Dank gebührt Frau Carla Gross des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) für die wesentlichen Beiträge und die wichtige Unterstützung, sowie den Reviewers für die Lektüre der Berichtsentwürfe und deren nützlichen Ratschläge und Korrekturen.

Ausserdem möchten wir den nachfolgend aufgeführten externen Experten für deren Verfügbarkeit, die wertvollen Ratschläge und die Datenlieferungen danken:

Michele Abderhalden (Museo cantonale di storia naturale, Ct. Ticino), Christian Ambrosi (SUPSI), Alessandro Antonucci (SUPSI), Laura Azzimonti (SUPSI), Ean Barelli (FFS), Charles Barras (Ticino Turismo), Nicola Barudoni (Ticino Sentieri), Giorgio Bassi (Ufficio dei miglioramenti strutturali e della pianificazione, Ct. Ticino), Andrea Baumer (Ofima), Matteo Bernasconi (Ufficio della consulenza agricola, Ct. Ticino), Marco Bigatto (AIL), Michele Broggini (AIL), Peter Brunner (SVV), Ivano Carattini (Sezione dell'agricoltura, Ct. Ticino), Carlo Cattaneo (AIL), Mevina Caviezel (FFS), Pier Angelo Ceschi (SES), Marco Conedera (WSL Bellinzona), Christian Crinari (Ufficio della protezione delle acque e dell'approvvigionamento idrico, Ct. Ticino), Paolo Degiorgi (Ufficio federale dell'agricoltura), Raffaele Domeniconi (SSIGA/VSA), Adriano Feitknecht (Masseria Ramello), Ulrico Feitknecht (Federazione Ticinese produttori di latte, LATI), Loris Ferrari (Sezione dell'agricoltura, Ct. Ticino), Andreas Fischer (Meteo Svizzera), Diego Forni (Ufficio dei pagamenti diretti, Ct. Ticino), Matthias Freiburghaus (SSIGA), Marco Gaia (MeteoSchweiz), Milko Gattoni (ESI), Sem Genini (Unione Contadina ticinese), Andrea Graf (SUPSI), Valeria Guidi (LMA, SUPSI), Marold Hofstetter (Ofima), Mauro Jermini (Agroscope), Dominique Kohli (Ufficio federale dell'agricoltura), Giampaolo Mameli (AIL), Cristina Monico (Azienda Moncucchetto), Nicola Patocchi (Fondazione Bolle di Magadino), Roberto Pedrazzini (FFS), Maurizio Pozzoni (SUPSI), Roberto Pronini (AET), Stefano Quartenghi (CDV), Lorenza Re (Sezione forestale, Ct. Ticino), Giovanni Realini (FFS), Francesco Rezzonico (Ufficio dei pagamenti diretti, Ct. Ticino), Corrado Rossini (AET), Cristian Scapozza (SUPSI), Fiorenzo Scerpella (AET), Camilla Soldini (Sezione forestale, Ct. Ticino), Claudio Valsangiacomo (SUPSI), Marco Zaffalon (SUPSI), Massimiliano Zappa (WSL), Elias Zubler (Meteo Svizzera), Vivian Zufferey (Agroscope).

INHALTSVERZEICHNIS

1. SYNTHESE UND GESAMTEVALUATION 8

1.1. SYNTHTESE DER RISIKEN UND CHANCEN 10
1.1.1. Gesundheit 10
1.1.2. Landwirtschaft 13
1.1.3. Wald/Waldwirtschaft 15
1.1.4. Infrastrukturen und Gebäude 17
1.1.5. Wasserwirtschaft 20
1.1.6. Tourismus 22
1.1.7. Energie 25
1.1.8. Biodiversität 27

2. EINLEITUNG 30

2.1. ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL 30

2.2. KURZBESCHREIBUNG DER FALLSTUDIENREGION 31
2.2.1. Klima (Niederschlag, Temperatur und Wind) 32
2.2.2. Gesundheit 33
2.2.3. Landwirtschaft 34
2.2.4. Wald und Waldwirtschaft 34
2.2.5. Infrastruktur und Gebäude 34
2.2.6. Wasserwirtschaft 35
2.2.7. Tourismus 35
2.2.8. Energie 35
2.2.9. Biodiversität 36

3. METHODIK 38

3.1. GEFAHREN UND EFFEKTE DES KLIMAWANDELS 38

3.2. DEFINITION DER RISIKEN UND CHANCEN 38

3.3. AUSWIRKUNGSBEREICHE 39

3.4. INDIKATOREN UND MONETARISIERUNG 40

3.5. ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE 41

3.6. UNSICHERHEITEN 41

3.7. EXTREMEREIGNISSE 42

3.8. WILDCARDS 44

3.9. SENSITIVITÄTSANALYSEN 44

3.10. QUALITATIVE ANALYSE 45

4. SZENARIEN 46

4.1. KLIMASZENARIEN 46
4.1.1. Emissionsszenarien 46
4.1.2. Klimaszenarien 47
4.1.3. Unsicherheiten der Szenarien 48

4.1.4. Meteorologische Extremereignisse 48
4.1.5. Klimaindikatoren 49

4.2. KLIMAENTWICKLUNG IM TESSIN 51
4.2.1. Beobachtete klimatische Entwicklung 51
4.2.2. Heutiges Klima 56

4.3. TEMPERATUREN UND NIEDERSCHLÄGE 2060 59
4.3.1. Temperatur 2060 60
4.3.2. Niederschlag 2060 62

4.4. KLIMAINDIKATOREN 2060 65
4.4.1. Hitzeindikatoren 66
4.4.2. Kälteindikatoren 70
4.4.3. Energie-Indikatoren 73
4.4.4. Andere Indikatoren 77

4.5. GEFAHREN UND EFFEKTE 2060 83
4.5.1. Veränderung Mitteltemperatur 84
4.5.2. Änderung im Niederschlagsregime 84
4.5.3. Starkniederschläge 84
4.5.4. Mure/Erdrutsch/Hangmure 87
4.5.5. Reduktion der Schneedecke/Abschmelzen der Gletscher 95
4.5.6. Starkschneefälle 96
4.5.7. Schneelawinen 99
4.5.8. Hochwasser 103
4.5.9. Gewitter/Hagel 104
4.5.10. Allgemeine Trockenheit 104
4.5.11. Waldbrand 105
4.5.12. Hitzewelle 107
4.5.13. Kältewelle 109
4.5.14. Frost 109
4.5.15. Auftauen Permafrost 109
4.5.16. Steinschlag/Fels-/Bergsturz 111
4.5.17. Sturm/Orkan 115

4.6. SOZIOÖKONOMISCHES UND DEMOGRAFISCHES SZENARIO 117

4.7. ZUSAMMENSTELLUNG DER ANALYSIERTEN SZENARIEN 133

5. RISIKEN UND CHANCEN DES KLIMAWANDELS PRO AUSWIRKUNGSBEREICH 134

5.1. RELEVANZMATRIX 134
5.1.1. Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen 136

5.2. GESUNDHEIT 138
5.2.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 138
5.2.2. Gefahren und Effekte 2060 139
5.2.3. Quantitative Analyse 160
5.2.4. Qualitative Analyse 164
5.2.5. Sozioökonomisches Szenario 2060 165

5.2.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Gesundheit 167

5.3. LANDWIRTSCHAFT 168
5.3.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 168
5.3.2. Gefahren und Effekte 2060 171
5.3.3. Quantitative Analyse 187
5.3.4. Sensitivitätsanalyse 192
5.3.5. Qualitative Analyse 194
5.3.6. Sozioökonomisches Szenario 2060 195
5.3.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Landwirtschaft 196

5.4. WALD / WALDWIRTSCHAFT 198
5.4.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 198
5.4.2. Gefahren und Effekte 2060 201
5.4.3. Quantitative Analyse 215
5.4.4. Qualitative Analyse 219
5.4.5. Sozioökonomisches Szenario 2060 220
5.4.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft 222

5.5. INFRASTRUKTUREN UND GEBÄUDE 223
5.5.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 223
5.5.2. Gefahren und Effekte 2060 227
5.5.3. Quantitative Analyse 250
5.5.4. Sensitivitätsanalyse 255
5.5.5. Qualitative Analyse 257
5.5.6. Sozioökonomisches Szenario 2060 258
5.5.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude 261

5.6. WASSERWIRTSCHAFT 262
5.6.1. Wichtigste Parameter: aktuelle Situation 262
5.6.2. Gefahren und Effekte 2060 265
5.6.3. Quantitative Analyse 277
5.6.4. Sensitivitätsanalyse 280
5.6.5. Qualitative Analyse 281
5.6.6. Sozioökonomisches Szenario 2060 282
5.6.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft 284

5.7. TOURISMUS 285
5.7.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 285
5.7.2. Gefahren und Effekte 2060 288
5.7.3. Quantitative Analyse 304
5.7.4. Qualitative Analyse 308
5.7.5. Sozioökonomisches Szenario 2060 309
5.7.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Tourismus 311

5.8. ENERGIE 312
5.8.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 312
5.8.2. Gefahren und Effekte 2060 316
5.8.3. Quantitative Analyse 329
5.8.4. Qualitative Analyse 333

5.8.5. Sozioökonomisches Szenario 2060 334
5.8.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Energie 336

5.9. BIODIVERSITÄT 337
5.9.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage 337
5.9.2. Gefahren und Effekte 2060 340
5.9.3. Qualitative Analyse 355
5.9.4. Sozioökonomisches Szenario 2060 358
5.9.5. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Biodiversität 358
5.9.6. Glossar Biodiversität 359

6. LITERATURVERZEICHNIS 360

ANHÄNGE

A1 HANDLUNGSFELDER UND MASSNAHMEN DER STRATEGIE ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL DES BUNDES
A2 PRÄSENTATION IDSIA – HANGMURE/MURGÄNGE
A3 ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE DER AUSWIRKUNGEN AUF DEN AUSWIRKUNGSBEREICH GESUNDHEIT
A4 ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE DER AUSWIRKUNGEN AUF DEN AUSWIRKUNGSBEREICH LANDWIRTSCHAFT
A5 ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE DER AUSWIRKUNGEN AUF DEN AUSWIRKUNGSBEREICH INFRASTRUKTUR UND GEBÄUDE
A6 ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE DER AUSWIRKUNGEN AUF DEN AUSWIRKUNGSBEREICH WASSERWIRTSCHAFT
A7 ANALYSE VON EXTREMEREIGNISSEN - AUSWIRKUNGSBEREICH GESUNDHEIT
A8 ANALYSE VON EXTREMEREIGNISSEN - AUSWIRKUNGSBEREICH LANDWIRTSCHAFT
A9 ANALYSE VON EXTREMEREIGNISSEN - AUSWIRKUNGSBEREICH INFRASTRUKTUREN UND GEBÄUDE
A10 ANALYSE VON EXTREMEREIGNISSEN - AUSWIRKUNGSBEREICH WASSERWIRTSCHAFT

1. SYNTHESE UND GESAMTEVALUATION

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Umwelt der Schweiz. Bis zum Ende des 21. Jahrhundert werden sich die klimatischen Bedingungen erheblich verändern. Deshalb ist es wichtig - nebst der prioritären Reduktion der Treibhausgasemissionen - eine geeignete Strategie zur Anpassung an den Klimawandel zu entwickeln und umzusetzen. Diese soll die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Regionen der Schweiz berücksichtigen. Der Bundesrat hat eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel verabschiedet, deren Ziel es ist, die Risiken zu minimieren, die Chancen zu nutzen und die Anpassungsfähigkeit der Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu steigern.

Die vorliegende Fallstudie des Kantons Tessin dient der Weiterentwicklung der Strategie. Sie hat zum Ziel, die durch den Klimawandel entstehenden Risiken und Chancen (bis 2060) für die Südschweiz aufzuzeigen. Dies geschieht mittels einer Analyse der Auswirkungen, welche das Klima auf verschiedene sozioökonomische und umweltrelevante Auswirkungsbereiche ausübt. Es handelt sich dabei um die Bereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Wald/Waldwirtschaft, Infrastrukturen und Gebäude, Wasserwirtschaft, Tourismus, Energie sowie Biodiversität.

Die Auswertung der Risiken und Chancen für den Kanton Tessin erfolgt auf der Basis der zur Verfügung stehenden Daten und des aktuellen Wissenstands. Wo es möglich war, wurden die Auswirkungen quantitativ ausgewertet und mit geeigneten Indikatoren monetarisiert. Dadurch können die Risiken und Chancen der verschiedenen Auswirkungsbereiche auch miteinander verglichen werden. Für jene Auswirkungen, die nicht quantitativ ausgewertet werden konnten, wurde eine qualitative Analyse durchgeführt. Mittels Vergleichsfaktoren wurden die Ergebnisse der qualitativen Analyse in Relation zu den quantitativ ausgewerteten Auswirkungen gestellt und bewertet.

Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels ist sehr komplex, nicht zuletzt wegen des weit in die Zukunft reichenden Zeithorizonts. Dadurch sind die Prognosen der zukünftigen Entwicklung von Gefahren und Effekten, welche mit den verschiedenen Klimaszenarien zusammenhängen, z. T. mit grossen Unsicherheiten behaftet. Um dies deutlich zu machen wurden die Unsicherheiten für jedes Risiko und jede Chance abgeschätzt. In gewissen Fällen können keine Prognosen der zukünftigen Entwicklung gemacht werden; die möglichen Auswirkungen wurden daher mittels einer Sensitivitätsanalyse bestimmt. Zudem ist es wichtig im Zusammenhang mit schnellen, episodisch auftretenden Naturgefahren, die Auswirkungen von möglichen Extremereignissen zu berücksichtigen. Diese können erheblich vom jährlichen Erwartungswert abweichen; Extremereignisse ermöglichen somit ein besseres Verständnis des jeweiligen Phänomens und dessen Variabilität.

In der vorliegenden Studie wurden die Risiken und Chancen des Klimawandels auf der Grundlage eines Referenzszenarios und mithilfe zweier zukünftiger Szenarien für das Jahr 2060 analysiert (genauer gesagt: für den Zeitraum 2045 bis 2074). Das Referenzszenario entspricht dem gegenwärtigen Klima und basiert auf den Daten des dreissigjährigen Zeitraums 1981 - 2010. Die beiden Zukunftsszenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und der entsprechend prognostizierten Temperatur und des Niederschlags im Jahr 2060: Das Szenario schwach ist sehr optimistisch und sieht eine moderate

Änderung des Klimas vor, während das Szenario stark von einer stärkeren Änderung ausgeht.

Die Analyse der Risiken und Chancen basierend auf diesen zukünftigen Kimaszenarien wurde unter der Annahme durchgeführt, dass sich die sozioökonomischen Bedingungen nicht ändern. Zudem analysiert die Studie auch die Risiken und Chancen unter dem sozioökonomischen Szenario 2060, unter der Annahme eines konstanten Klimas. Diese Analyse stellt die klimabedingten Risiken und Chancen in Relation zu denjenigen des sozioökonomischen Wandels. Die Auswirkungen der sozioökonomischen Entwicklung können für bestimmte Auswirkungsbereiche deutlich relevanter, als die klimabedingten, sein.

Auswirkungsbereich	Szenario schwach	Unsicherheit	Szenario stark	Unsicherheit	Sozioökonomisches Szenario	Unsicherheit
Gesundheit		++		++		++
Landwirtschaft		++		++		++
Wald/Waldwirtschaft		++		++		++
Infrastrukturen und Gebäude		++		++		++
Wasserwirtschaft		++		++		++
Tourismus		++		++		++
Energie		+		+		+
Biodiversität		+++		+++		+++

LEGENDE

Klassen (Mio. Fr.)	Auswertung
> 50	Sehr positiv
10 … 50	Positiv
0.5 … 10	Leicht positiv
-0.5 … 0.5	Gering
-10 … -0.5	Leicht negativ
-50 … -10	Negativ
<-50	Sehr negativ

Unsicherheit

+	Gering
++	Mittel
+++	Gross

Szenario schwach 2060
Szenario stark 2060

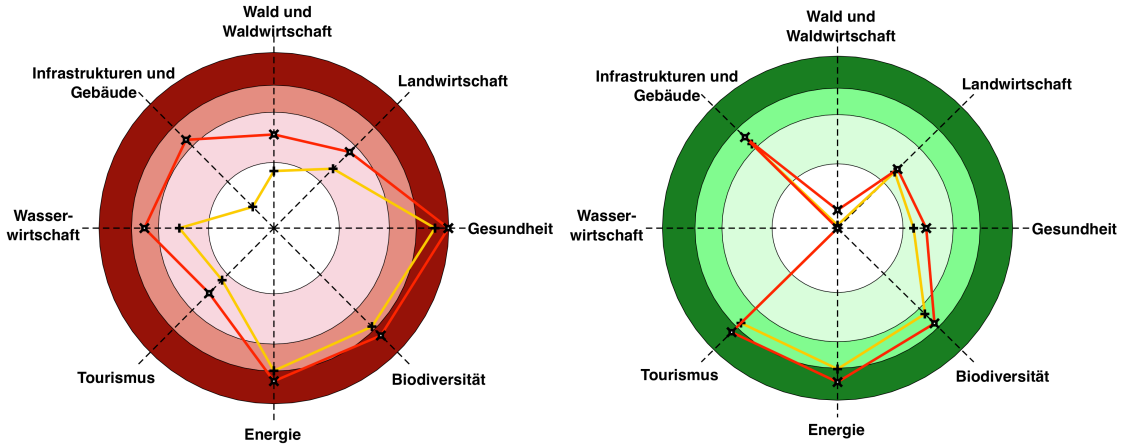


Abbildung 1: ***Oben: Totalbilanz und entsprechende Unsicherheiten der Auswirkungen des Klimawandels auf die acht berücksichtigten Auswirkungsbereiche für den Kanton Tessin (Änderung im Vergleich zum Referenzszenario) unter dem Szenario schwach, dem Szenario stark und dem sozioökonomischen Szenario. Die Bilanz basiert auf der Differenz zwischen den zukünftigen (unter den Szenarien schwach und stark) und heutigen Risiken und Chancen. Unten: Risiken (links) und Chancen (rechts) des Klimawandels auf die acht berücksichtigten Auswirkungsbereiche unter den Szenarien schwach und stark (logarithmische Skala).***

Die Analyse der Risiken und Chancen brachte bedeutende Unterschiede zwischen den Szenarien schwach und stark hervor und erlaubte es abzuschätzen, ob die sozioökonomische Entwicklung die Auswirkungen des Klimawandels abschwächen oder verstärken wird (vgl. Abbildung 1).

Die Analyse hat gezeigt, dass das bedeutendste Risiko des Klimawandels im Tessin die Auswirkung zunehmender Hitzewellen auf die Gesundheit der Bevölkerung ist. Im Sommer 2003 – Sommer mit deutlich über dem Mittel liegenden Temperaturen – kam es zu einer Zunahme der Sterberate um 2 % und zu einer Zunahme der Spitaleinlieferungen um 33 % in Bezug zum langjährlichen Mittel. Die Auswirkung auf die Gesundheit, welche bei beiden Klimaszenarien bedeutend ist, könnte allerdings durch einen steigenden Anteil an energetisch renovierten Gebäuden und an Gebäuden, die über ein Kühlungssystem verfügen, abgeschwächt werden. Diese Entwicklung entspricht dem sozioökonomischen Szenario.

Der Klimawandel stellt auch für die Biodiversität des Tessins ein bedeutendes Risiko dar. Insbesondere die Veränderung der Mitteltemperatur und die Änderung im Niederschlagsregime könnten zu einem irreversiblen Verschwinden von Feuchtgebieten (Moore) und in Zusammenhang mit tiefen Temperaturen vorkommenden Lebensräumen (z.B. Schneefelder) führen. Als Konsequenz käme es zum Aussterben von dort vorkommenden, seltenen Arten.

Ein weiteres, vor allem unter dem Szenario stark, bedeutendes Risiko ist der Anstieg des Energiebedarfs zur Kühlung, der eine direkte Konsequenz der zunehmenden Temperatur in den Sommermonaten ist. Für den Auswirkungsbereich Energie erwies sich die Bilanz dennoch insgesamt als positiv, dank der bedeutenden Abnahme des Energiebedarfs zum Heizen von Gebäuden im Winter. Sozioökonomisch gesehen wird für den Auswirkungsbereich Energie von einer Zunahme der Kosten ausgegangen, primär aufgrund der Preise für Energieträger, die in Zukunft wahrscheinlich höher sein werden.

Die steigenden Temperaturen und die insbesondere im Sommer abnehmenden Niederschläge stellen eine wichtige Chance für den Auswirkungsbereich Tourismus dar. Allerdings gilt es zu beachten, dass dieser Auswirkungsbereich im Vergleich zu den anderen viel stärker von sozioökonomischen Faktoren beeinflusst wird. Dazu zählen beispielsweise der Wechselkurs Fr./Euro, der Trend zu immer kürzeren Ferienaufenthalten von Familien, die sinkenden Flugpreise und die zunehmende Wahl von Feriendestinationen in exotischen Ländern. Die Analyse zeigt aber, dass der Klimawandel im Tessin bis 2060 insgesamt eher positive Auswirkungen auf den Tourismus ausüben wird.

1.1. SYNTHTESE DER RISIKEN UND CHANCEN

In den nachfolgenden Unterkapiteln finden sich die wichtigsten Resultate der Analyse der Risiken und Chancen in den einzelnen sozioökonomischen und umweltrelevanten Auswirkungsbereichen.

1.1.1. Gesundheit

In Abbildung 2 sind die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Gesundheit dargestellt.

Die quantitative Analyse der Auswirkungen hat gezeigt, dass bereits heute die Anzahl Opfer von Naturgefahren (Lawinen, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag, Fels-/Bergsturz)

und Verkehrsunfälle aufgrund von Schnee und Eis auf den Fahrbahnen (für die Gefahr Starkschneefälle analysiert) relativ kleine Risiken darstellen. Infolge des Klimawandels wird eine Zunahme der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure und eine Abnahme von Schneelawinen, Starkschneefällen und Steinschlag, Fels-/Bergsturz erwartet. Für diese Naturgefahren bestehen Unsicherheiten bezüglich der jährlichen Schwankungen der Intensität und der Anzahl Ereignisse. Die Zunahme der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure unter dem Szenario stark könnte, im Fall eines Extremereignisses, zu zusätzlichen Kosten für die Gesellschaft von mehr als 110 Mio. Fr. führen.

Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure kann ausserdem Schäden an Wasserleitungen verursachen, wodurch eine Beeinträchtigung des Trinkwassers und damit die Verbreitung von Krankheiten hervorgerufen werden kann. Dieses Risiko könnte in Zukunft infolge des Klimawandels zunehmen.

Hitzewellen führen schon heute zu erheblichen Risiken für die Bevölkerung. Besonders gefährdet sind die Altersgruppe der über 65-Jährigen, sowie Kinder und die im Freien aktiven Personen. Hitzewellen haben bereits heute sehr bedeutende Auswirkungen auf die Anzahl der Todesfälle und Spitaleinlieferungen sowie die Abnahme der Arbeitsproduktivität. Die erwartete Zunahme der Anzahl Hitzewellentage – Verdoppelung unter dem Szenario schwach und Verdreifachung unter dem Szenario stark – könnte für den Kanton Tessin die Gefahr Hitzewelle zum bedeutendsten Risiko des Klimawandels machen. Besonders relevant werden Extremereignisse sein (Sommer mit überdurchschnittlich vielen Hitzewellentagen), welche in Zukunft erhebliche soziale Kosten für unsere Gesellschaft verursachen werden. Die korrekte Zuordnung von Hitzewellen als Ursache für Todesfälle, Spitaleinlieferungen oder eine Abnahme der Arbeitsproduktivität erweist sich allerdings als sehr schwierig und ist somit mit Unsicherheiten behaftet.

Die Zunahme von Hitzewellen könnte ausserdem indirekte Kosten verursachen (qualitativ ausgewertet), wie z. B. die zunehmende Verschiebung der Arbeitszeit einiger Berufsgruppen in kühlere Tageszeiten. Da in der Schweiz die Arbeit während ausserordentlichen Tageszeiten einen höheren Preis hat, würden zunehmende Verschiebungen von Arbeitszeiten zu einem Anstieg der Produktionskosten führen.

Von den qualitativ ausgewerteten Auswirkungen erweist sich die weitere Verbreitung von krankheitsübertragenden Zecken oder gebietsfremden Mücken (z.B.Tigermücke) als besonders relevant. Die Verbreitung dieser Vektoren wird durch die Zunahme der Mitteltemperatur – insbesondere der Minimaltemperaturen im Winter – sowie durch die Globalisierung des Güterverkehrs begünstigt. Die Veränderung der Mitteltemperatur könnte zudem eine Verlängerung der Pollensaison bewirken. Daraus resultiert zwar keine Zunahme der Anzahl Allergiker aber der kritischen Periode für Allergiker. Weitere gesundheitliche Auswirkungen als Folge der ansteigenden Mitteltemperatur sind höhere Schadstoffbelastungen in der Atmosphäre, wie Ozon und Feinstaub und eine Zunahme der Infektionen aufgrund von verdorbenen Lebensmitteln oder der Verbreitung von pathogenen Organismen im Wasser (sowohl Trink- als auch Badewasser).

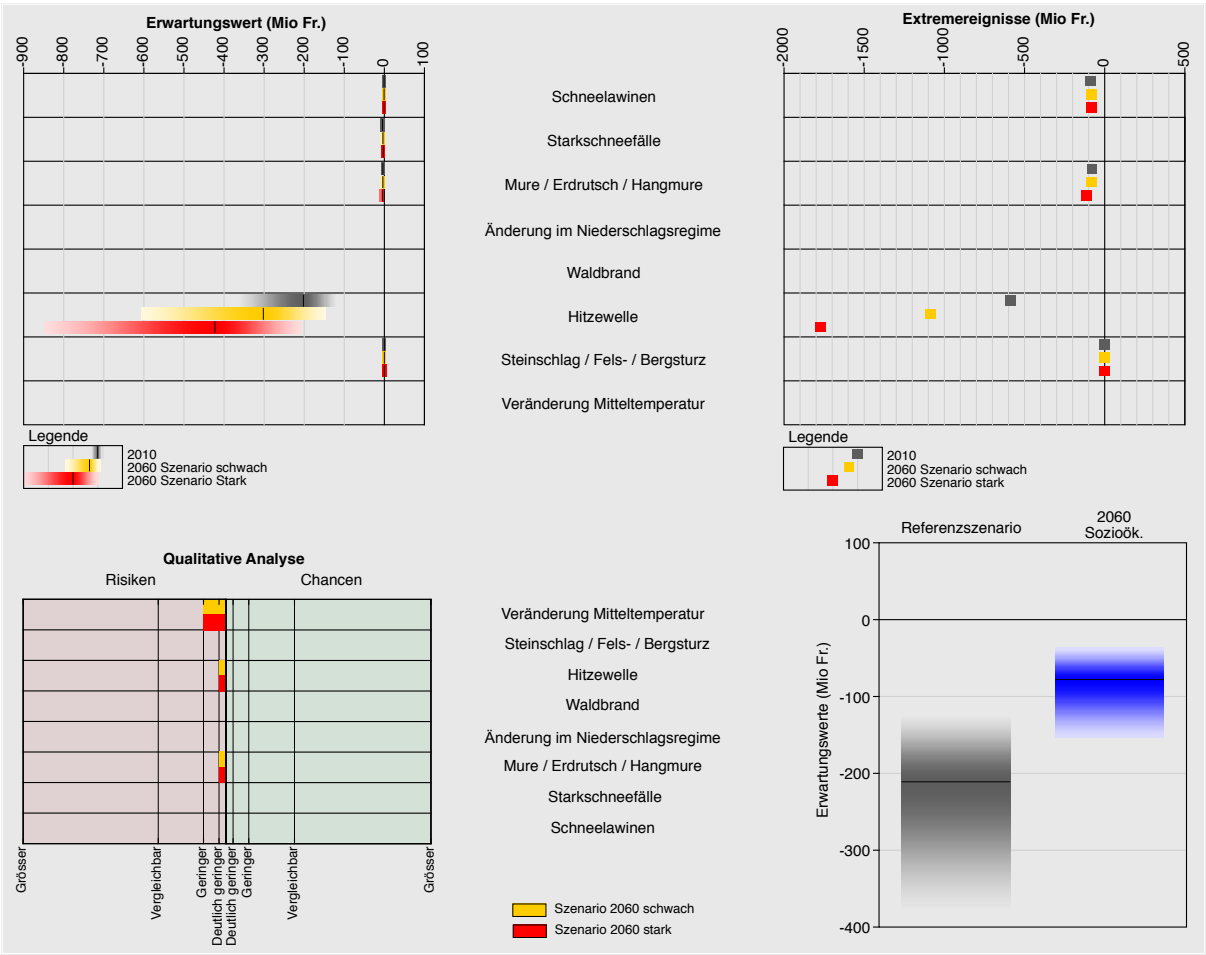


Abbildung 2: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Beim sozioökonomischen Szenario (Szenario ohne Klimawandel) wird davon ausgegangen, dass die negativen Auswirkungen des Klimas auf die Gesundheit in Zukunft kleiner sein werden im Vergleich zu heute. Diese Abnahme hängt primär mit der prognostizierten Zunahme von energetisch sanierten Gebäuden zusammen, welche vermehrt über eine Klimaanlage verfügen. Für die Bevölkerung wird es einfacher sein, sich vor der Hitze zu schützen, wodurch die Anzahl frühzeitiger Todesfälle und Spitaleinlieferungen abnehmen wird. Zu dieser Abnahme kommt es, obwohl die Anzahl älterer Menschen (besonders empfindlich gegenüber Hitzewellen) zunimmt. Die Kosten infolge der geringeren Arbeitsproduktivität sollten auch abnehmen. Was die Anzahl Opfer von Naturgefahren betrifft, ist eine Zunahme der Kosten infolge einer möglichen Bautätigkeit in kritischeren Gebieten zu erwarten. Die Zunahme von Fahrzeugen (wegen Motorisierung und Bevölkerungswachstum) könnte jedoch insgesamt trotzdem zu mehr Unfällen führen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Gesundheit sind deutlich relevanter als jene der anderen Auswirkungsbereiche. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass ein Menschenleben oder ein Spitalaufenthalt mit einem hohen Betrag monetarisiert wird.

Fazit

Der Auswirkungsbereich Gesundheit ist gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels am empfindlichsten. Die Zunahme von Hitzewellen im Sommer stellt das bedeutendste Risiko für diesen Auswirkungsbereich dar und zwar aufgrund der damit zusammenhängenden Zunahme der Sterberate, der Spitaleinlieferungen und des Rückgangs der Arbeitsproduktivität. Die Zunahme der Mitteltemperatur könnte zudem die Verbreitung von Vektoren exotischer Krankheiten begünstigen. Die Existenz solcher Insekten stellt ein zu überwachendes Risko für die Gesundheit dar. Sozioökonomisch betrachtet könnten diese Risiken teilweise durch den Anstieg der energetisch optimierten Wohngebäude mit Klimaanlagen abgeschwächt werden.

1.1.2. Landwirtschaft

In Abbildung 3 werden die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft dargestellt.

Die quantitative Analyse der Auswirkungen hat gezeigt, dass für die Landwirtschaft des Tessins allgemeine Trockenheit und Hitzewellen die bedeutendsten Risiken infolge des Klimawandels sind. Während Trockenperioden und Hitzewellen steigt der Bedarf nach Wasser für das Kulturland und das Vieh, während gleichzeitig das pflanzenverfügbare Wasser versiegt. Trockenheit und hohe Temperaturen schränken die landwirtschaftliche Produktion ein, wodurch die Erträge abnehmen. Die erwartete zukünftige Zunahme solcher Tage wird zu höheren landwirtschaftlichen Ertragseinbussen führen. Speziell kritisch werden die Jahre sein, in welchen überdurchschnittlich viele Hitzewellentage vorkommen. Die Ertragseinbussen in solchen Jahren können bis zu 2.5 Mio. Fr. betragen.

Die relevanteste quantitativ ausgewertete Chance für die Landwirtschaft bringt die erwartete Zunahme der Mitteltemperatur mit sich, welche ein rascheres Wachstum der Pflanzen sowie eine längere Vegetationsperiode bewirkt. Es ist denkbar, dass diese Umstände zu einer Zunahme der Erträge dank beispielsweise einer hinsichtlich Menge und Qualität gesteigerten Produktivität von Weinreben führen. Allerdings begünstigt die Zunahme der Mitteltemperatur auch die Verbreitung von für die Landwirtschaft schädlichen Organismen (beispielsweise invasive Neophyten), die in der Landwirtschaft Schäden verursachen können. Dadurch ergäben sich Mehrkosten für die Behandlung der Kulturen. Generell ist es schwierig festzulegen, um wieviel die Erträge infolge der Zunahme der Mitteltemperatur zunehmen werden (bedeutende Unsicherheit).

Bis zum Jahr 2060 werden unter beiden zukünftigen Klimaszenarien ein Anstieg der Niederschläge im Winter und Frühjahr und eine Abnahme im Herbst und Sommer erwartet. Bestimmte Kulturpflanzenarten werden davon profitieren können; Arten die hauptsächlich im Frühjahr wachsen, werden vom grösseren Wasserangebot in diesem Zeitraum profitieren. Arten, die primär im Sommer wachsen, werden aufgrund des geringeren Wasserangebots weniger ertragreich sein. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass die Auswirkungen in der Landwirtschaft aufgrund der Änderung des Niederschlagsregimes eher gering ausfallen werden.

Naturgefahren führen zu bedeutenden Schäden an landwirtschaftlichen Nutzflächen und damit zu Ertragseinbussen. Hochwasser, welche zu grossen Schäden führen können, sind

bereits heute eine relevante Naturgefahr im Auswirkungsbereich Landwirtschaft. In Zukunft wird von einer Zunahme der Hochwasser und der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure ausgegangen, wodurch auch die Schäden durch diese Gefahren zunehmen werden. Was die Gefahren Gewitter/Hagel sowie Sturm/Orkan anbelangt, ist es momentan nicht möglich, eine zuverlässige Prognose zu ihren zukünftigen Entwicklungen zu machen. Falls Gewitter/Hagel zunehmen, würde der Auswirkungsbereich Landwirtschaft dadurch stark beeinträchtigt. Auch die Schäden infolge eines extremen Hochwasserereignisses im Jahr 2060 wären für die Landwirtschaft ein bedeutendes Risiko, insbesondere unter dem Szenario stark. Es würde Kosten von bis zu 28 Mio. Fr. verursachen.

Für die Gefahren Hochwasser und Mure/Erdrutsch/Hangmure wurden die Ertragseinbussen (Verlust an Produkten) der Kulturen nicht in die quantitative Auswertung miteinbezogen. Höhere Ertragseinbussen (qualitativ ausgewertet) werden zu höheren Kosten führen. Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure führt ausserdem zu einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit auf den betroffenen Flächen. Diese Problematik wird in Zukunft zunehmen.

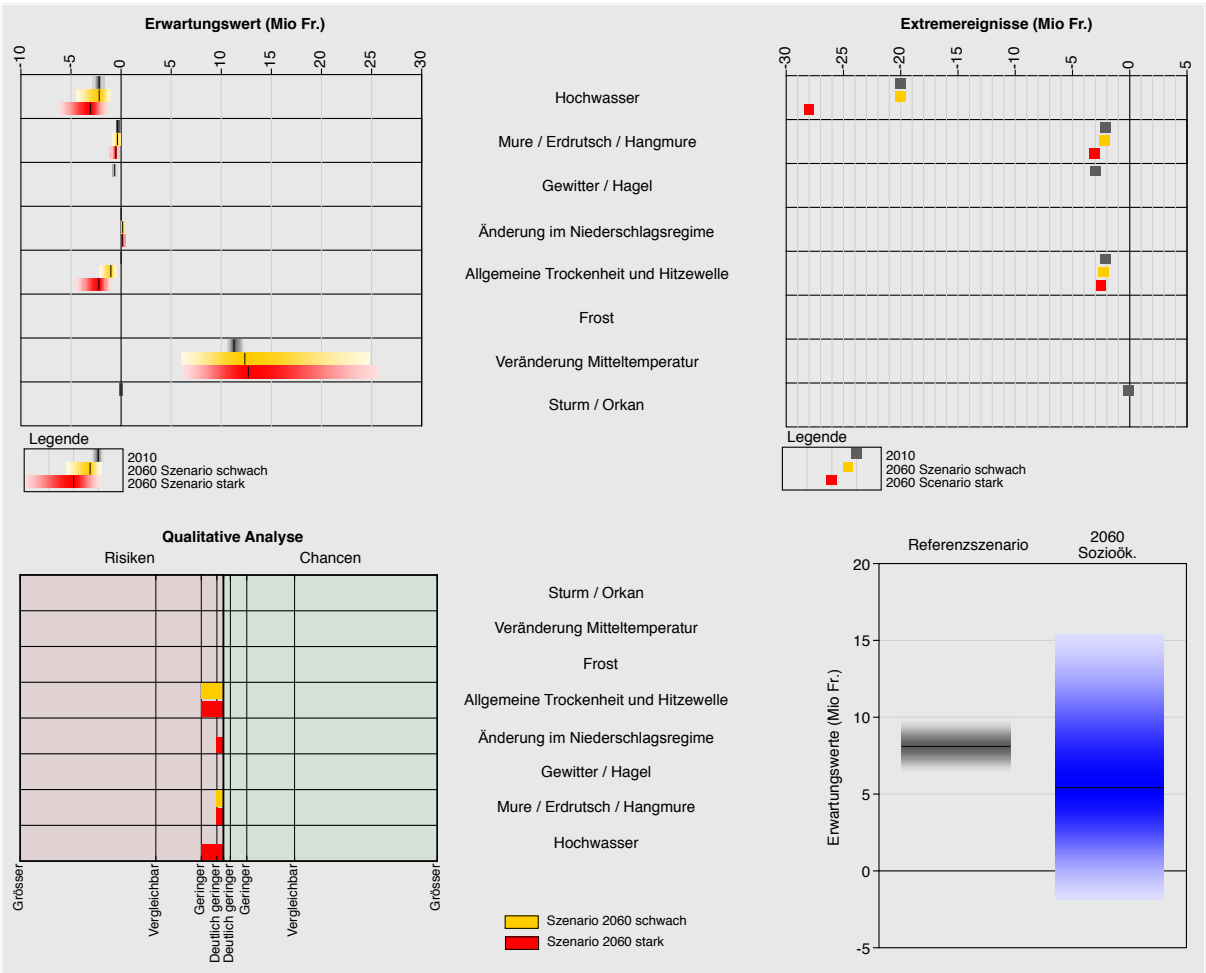


Abbildung 3: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Die Alpwirtschaft wird im Vergleich zu den übrigen Nutzungsformen im Auswirkungsbereich Landwirtschaft von Hitzewellen am wenigsten beeinträchtigt. Dennoch sind bei anhaltenden Hitzewellen auch hier relativ bedeutende Folgen zu erwarten. Als Beispiele gelten die Abnahme der Produktion von Futtermitteln, der Rückgang des Wasserangebots zum Tränken des Viehs und die abnehmende Milchproduktion.

Was das sozioökonomische Szenario betrifft, wird davon ausgegangen, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und die landwirtschaftliche Nettowertschöpfung abnehmen werden. Diese Entwicklung wird zu einem Rückgang der Erträge und auch der potentiellen Schäden infolge von meteorologischen Ereignissen führen.

Fazit

Die mögliche Zunahme von Hochwasser und der daraus folgenden Schäden stellt für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft, insbes. im Fall eines Extremereignisses, das wichtigste Risiko dar. Ein weiteres Risiko für diesen Auswirkungsbereich sind Trockenheit und Hitzewellen während der Sommermonate. Als Chance hingegen erweist sich die Zunahme der Mitteltemperatur, welche ein gesteigertes Wachstum der Kulturpflanzen und eine höhere Qualität z. B. des für das Tessin wichtigen Weinbaus nach sich ziehen.

1.1.3. Wald/Waldwirtschaft

In Abbildung 4 werden die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Wald/Waldwirtschaft aufgeführt.

Der Wald bedeckt über die Hälfte der Kantonsfläche (rund 53 %). Der Tessiner Wald übt eine wichtige Schutzfunktion gegenüber Naturgefahren aus. Die Produktionsfunktion ist hingegen von untergeordneter Wichtigkeit. Naturgefahren stellen eine bedeutende Gefahr dar, da sie (Schutz-) Wälder beschädigen können, wodurch Kosten für die Holzräumung und Wiederinstandsetzung entstehen.

Im Tessin gehen die bedeutendsten quantifizierbaren Risiken für den Wald und die Waldwirtschaft von natürlichen Waldbränden aus (nicht durch Menschen verursachte sondern klimatisch bedingte). Bereits heute führt diese Gefahr zu den meisten Schäden an Schutzwäldern, und zwar sowohl was die Schäden in Bezug zum jährlichen Mittel als auch jene in Zusammenhang mit einem Extremereignis anbelangt; in Zukunft werden aufgrund zunehmender Trockenperioden (Szenario stark) mehr Waldbrände auftreten als heute, mit einem darausfolgenden höheren Schadensrisiko. Andere Gefahren (Schneelawinen, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag, Fels-/Bergsturz) sind bezogen auf das Schadensrisiko weniger bedeutend. In Zukunft ist mit einem Rückgang der Gefahren Schneelawinen und Steinschlag, Fels-/Bergsturz zu rechnen und die dazugehörigen Schäden werden erwartungsgemäss ebenfalls abnehmen. Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure und die davon ausgehenden Schäden werden jedoch zunehmen.

Waldbrände führen grösstenteils zum Absterben des Baumbestandes in den betroffenen Gebieten. Dies führt dazu, dass in den betroffenen Flächen Licht und Raum für Pionierarten geschaffen werden. Falls diese Arten die Schutzwirksamkeit des Waldes beeinträchtigen (z. B. invasive Neophyten, die das Aufkommen von Bäumen behindern), kann es dazu kommen, dass sie nicht mehr gewährleistet ist (Risiko qualitativ ausgewertet). Für das Jahr

2060 ist einzig unter dem Szenario stark mit einer beachtlichen Zunahme der Waldbrände zu rechnen.

Ein grossräumiges Sturm- oder Orkanereignis hat Konsequenzen für den Holzmarkt. Die grosse Menge an Holz, die durch ein solches Ereignis anfällt, führt dazu, dass die Holzpreise sinken. Zurzeit ist es jedoch nicht möglich, zuverlässige Prognosen zur Entwicklung von Stürmen oder Orkanen zu machen.

Starkschneefälle, vor allem mit Nassschnee, können zu erheblichen Schäden am Wald führen. Durch die Zunahme der Mitteltemperatur und der Starkniederschläge ist davon auszugehen, dass der Wald in höheren Lagen zukünftig von starken Nassschneefällen stärker beeinträchtigt sein wird. Ein diesbezügliches Extremereignis kann besonders bedeutende Auswirkungen haben.

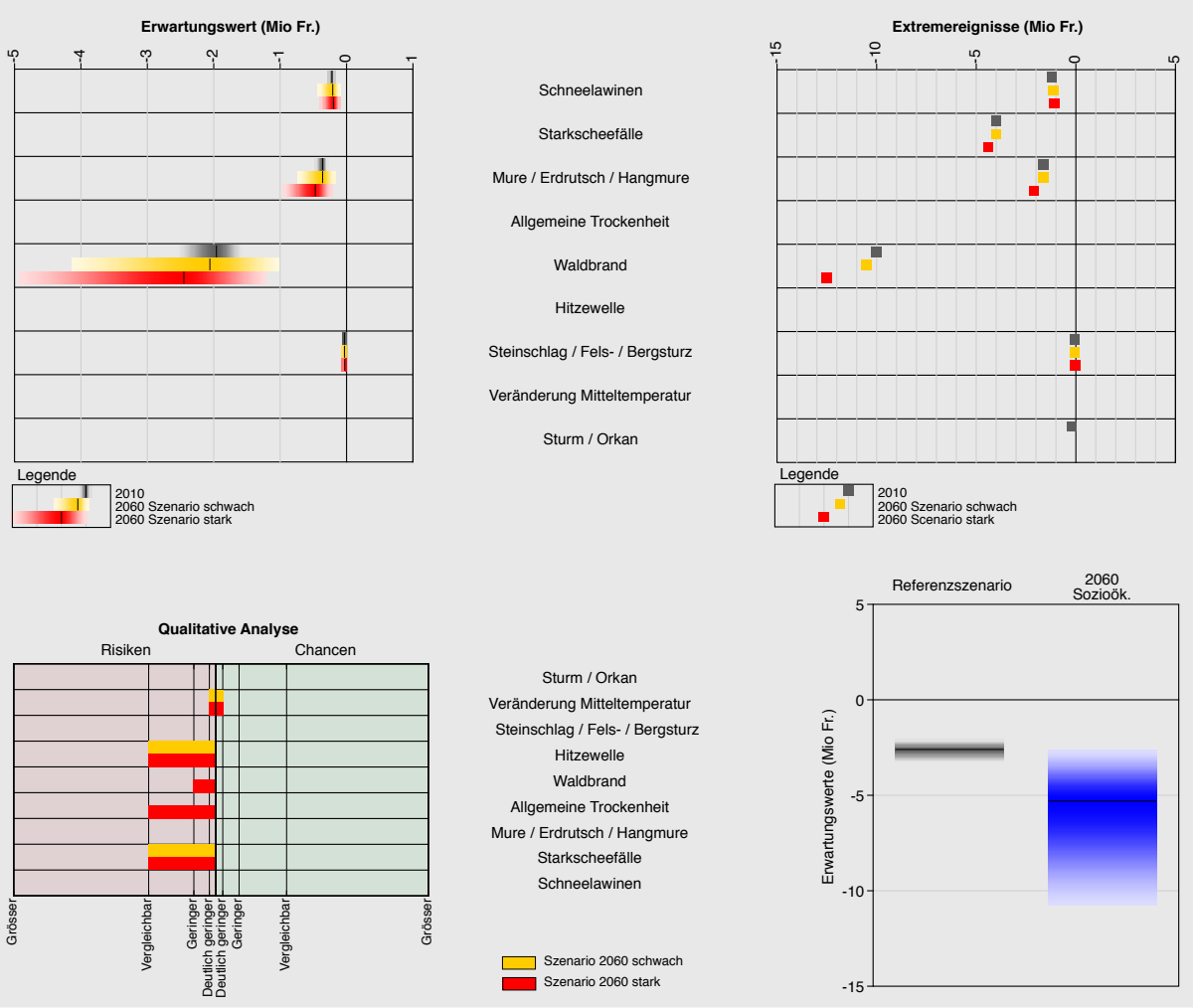


Abbildung 4: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Die Zunahme der allgemeinen Trockenheit, die unter dem Szenario stark erwartet wird, stellt ein relevantes Risiko für den Wald dar (qualitativ ausgewertet). Allgemeine Trockenheit führt

zu einem Anstieg der Sterberate von Bäumen und bewirkt Trockenstress, vor allem in Wäldern mit einem geringen Wasserspeichervermögen. Zudem wird die Verbreitung von invasiven Neophyten begünstigt, die die Schutzwirksamkeit des Waldes beeinträchtigen können.

Hitzewellen – welche bis im Jahr 2060 höchstwahrscheinlich öfter und mit grösserer Intensität auftreten – können den Wäldern ebenfalls Schaden zufügen, sowohl direkt durch das Absterben der Pflanzen infolge von Hitzestress als auch indirekt infolge der Verbreitung von invasiven Neophyten, die die Schutzwirksamkeit nicht gewährleisten.

Die Veränderung der Mitteltemperatur und die milderen Winter werden die Verbreitung von Parasiten und pathogenen Organismen in Wäldern begünstigen. Diese Organismen könnten vermehrt den Baumbestand der Wälder in tiefen Lagen gefährden. In höheren Lagen wird die Zunahme der Mitteltemperatur als Chance angesehen, vor allem dank der möglichen verlängerten Vegetationsperiode. Generell werden Flora und Fauna durch die höheren Temperaturen in höhere Lagen migrieren, wodurch sich die Waldgrenze nach oben verschiebt.

Das sozioökonomische Szenario geht von einer Zunahme der Kosten für die Wiederinstandsetzung von Schutzwäldern aus. Diese Entwicklung wird erwartungsgemäss bedeutender sein, als die Auswirkungen des Klimawandels.

Schliesslich gilt es hervorzuheben, dass die quantitative Analyse in der vorliegenden Studie einzig die Risiken, die anhand der Kosten geschätzt wurden, in Zusammenhang mit Wiederinstandsetzungen des Waldes quantifiziert werden. Die angewandte Methode geht nicht auf den eigentlichen Wert des Waldes ein, der stark durch seine Funktion als Schutz vor Naturgefahren geprägt ist (Wert der Personen und der Schutzgüter). Letzterer ist für den Kanton Tessin von viel grösserer Bedeutung, als die hier aufgeführten Kosten.

Fazit

Waldbrand ist eine Naturgefahr, die bereits heute zu bedeutenden Schäden in Schutzwäldern des Tessins führt. Das vermehrte Auftreten dieser Gefahr infolge zunehmender Trockenheit erweist sich als grösstes Risiko des Klimawandels für den Wald. Die Änderungen anderer Gefahren werden demgegenüber weniger relevant sein. Die unter dem sozioökonomischen Szenario erwartete Zunahme der Kosten zur Wiederinstandsetzung von Schutzwäldern kann die Risiken des Klimawandels verschärfen.

1.1.4. Infrastrukturen und Gebäude

In Abbildung 5 werden die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude aufgeführt.

Die zukünftige Veränderung der Mitteltemperatur wird als Chance angesehen, was den Aufwand für den Strassenwinterdienst anbelangt. Die Abnahme der Tage mit Schnee und Eis auf den Strassen des Kantons wird zu einer bedeutenden Abnahme der Kosten führen, welche anfallen, um im Winter Sicherheit und Verkehrsfluss auf den Strassen zu gewährleisten.

Naturgefahren wie Schneelawinen, Starkschneefälle, Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel, Sturm/Orkan und Steinschlag, Fels-/Bergsturz führen bereits heute zu relevanten Schäden an mobilen Gütern, Gebäuden, Transportinfrastruk-

turen und dem Stromnetz. Diese Gefahren machen zudem häufig eine Evakuierung von Personen notwendig. Als die bedeutendste Gefahr, die die grössten Schäden verursacht, gelten Hochwasser. Sie können sehr grosse Flächen beeinträchtigen, insbesondere jene im Bereich der grossen Tessiner Seen. Bis im Jahr 2060 wird von einer Zunahme der Risiken Hochwasser und Mure/Erdrutsch/Hangmure ausgegangen, was zu einem Anstieg der dazugehörigen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen führen wird. In Lagen unterhalb von 2‘000 m ü. M. – wo der grösste Teil der Gebäude und Infrastrukturen liegt – werden die Gefahren Schneelawinen, Starkschneefälle und Steinschlag, Fels-/Bergsturz abnehmen. Schäden infolge dieser Naturgefahren werden somit in Zukunft geringer ausfallen. Was die Gefahren Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan anbelangt, ist es zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich, eine zuverlässige Prognose aufzustellen. Eine Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass eine Veränderung dieser Gefahren zu relevanten Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden führen kann. Im optimistischsten Fall könnten die Schäden unter dem Szenario stark um 52 % abnehmen, während sie im pessimistischsten Fall um 78 % zunehmen würden. Generell kann festgestellt werden, dass Extremereignisse ein sehr hohes Risiko für diesen Auswirkungsbereich darstellen können. Speziell kritisch wäre ein extremes Hochwasserereignis. Es könnte unter dem Szenario stark Schäden in der Höhe von bis zu 220 Mio. Fr. verursachen.

Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden aufgrund von Naturgefahren können auch zu indirekten Auswirkungen auf die Produktion verschiedener Industrien und den Ertrag von Dienstleistungen führen. Schäden an Verkehrswegen (Strasse oder Schiene) können z. B. Transporte unterbrechen oder verlangsamen, wodurch bei den betroffenen Firmen Ertragseinbussen entstehen. Schäden an Gebäuden könnten zudem Güter, Produktionsanlagen, oder Büros von Industrien und Dienstleistungen in Mitleidenschaft ziehen und dadurch Ertragseinbussen mit sich bringen. Die zukünftige Änderung solcher indirekten Auswirkungen wurde mittels einer qualitativen Analyse auf der Basis der zukünftigen Entwicklung der Häufigkeit und Intensität der verschiedenen Naturgefahren ermittelt. Das relevanteste Risiko ist die Zunahme von Hochwassern, die unter dem Szenario stark prognostiziert wird. Hochwasser könnten, aufgrund der Grösse der bebauten Fläche, die möglicherweise betroffen wäre, bedeutende Schäden nach sich ziehen. Unter Berücksichtigung sowohl der direkten als auch indirekten Auswirkungen kann ein Hochwasserereignis Schäden von rund 440 Mio. Fr. verursachen.

Hohe Temperaturen während Hitzewellen können Infrastrukturen und Gebäude des Tessins, insbesondere den Strassenbelag (Verformungen), in Zukunft ebenfalls stärker beeinträchtigen, wenn auch in geringerem Ausmass als die Naturgefahren. Im Jahr 2060 könnte dieses Risiko aufgrund des vermehrten Auftretens von Hitzewellen zunehmen.

Die erwartete Zunahme der Mitteltemperatur wird zu einem Anstieg der winterlichen Tiefsttemperaturen führen und damit zu einer Abnahme der Schäden infolge von Frost. Insbesondere können wiederholte Frost- und Tauzyklen den Strassenbelag schädigen. Der Klimawandel erweist sich als Chance für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude bezüglich dieser Art von Schäden (qualitativ ausgewertet), denn sie werden in Zukunft abnehmen. Die Beträge sind jedoch deutlich geringer als jene infolge von Naturgefahren.

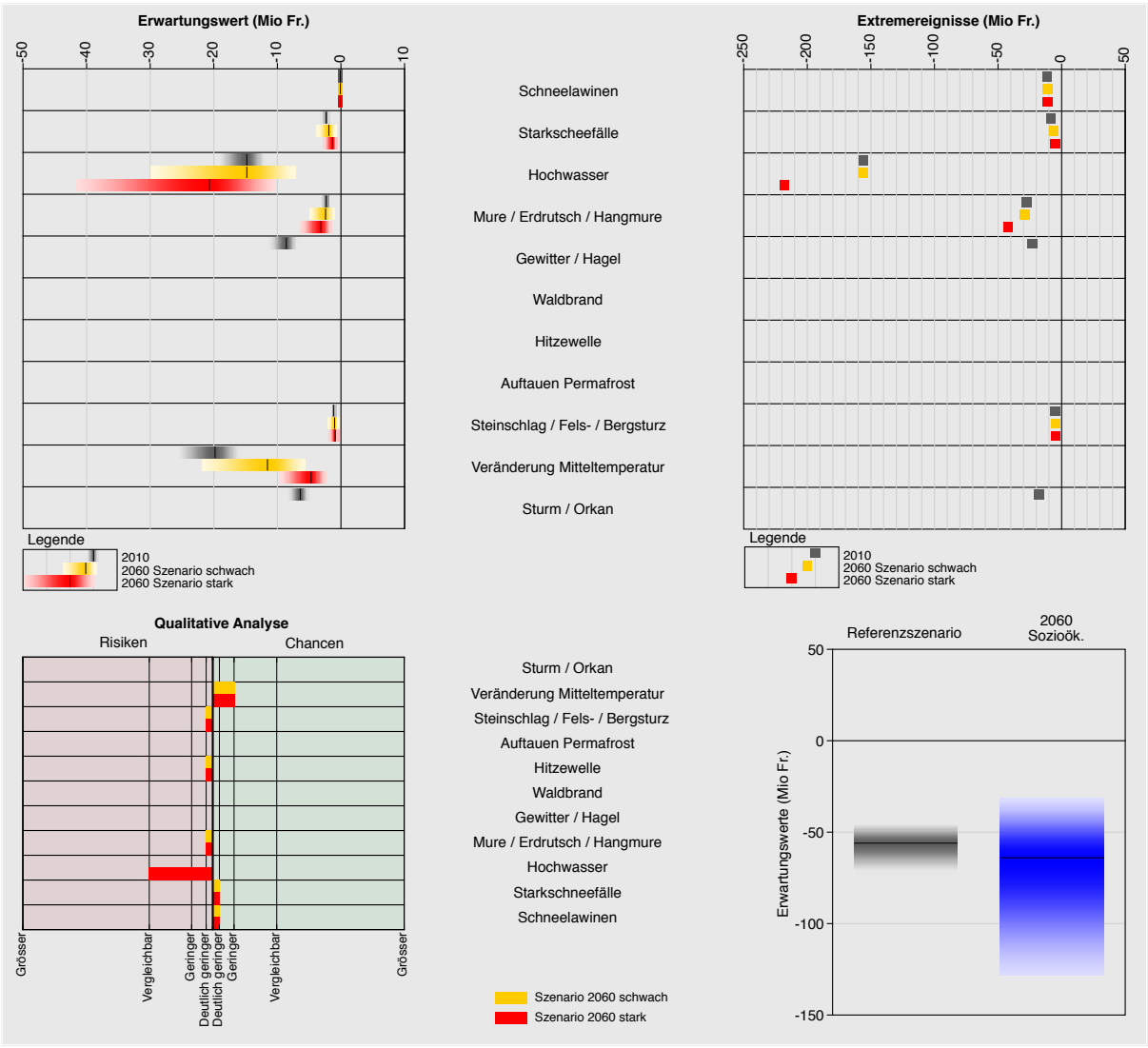


Abbildung 5: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Interessant ist, dass bezüglich des jährlichen Erwartungswerts der Klimawandel insgesamt eine Chance für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude darstellt, insbesondere dank der rückläufigen Kosten für den Winterdienst. Extremereignisse könnten hingegen sehr hohe Kosten nach sich ziehen, hauptsächlich aufgrund der möglichen Zunahme der Schäden infolge von Hochwasser.

Die Totalbilanz unter dem Szenario stark erweist sich aufgrund der grossen Risiken in Zusammenhang der bis 2060 erwarteten Zunahme von Hochwasserereignissen als weniger positiv als jene unter dem Szenario schwach.

Was das sozioökonomische Szenario anbelangt, wird eine Zunahme der Kosten von Schäden durch Naturgefahren erwartet. Diese hängt in erster Linie mit der Zunahme der Infrastrukturen und Gebäude (Bevölkerungswachstum) und deren Wertsteigerung zusammen.

Die sozioökonomischen Änderungen sind in ihrem Ausmass vergleichbar mit den Auswirkungen des Klimawandels.

Fazit

Der Klimawandel könnte einen bedeutenden negativen Einfluss auf Infrastrukturen und Gebäude haben, in erster Linie aufgrund des möglichen Anstiegs der Schäden infolge von Hochwasser, und insbes. durch entsprechende Extremereignisse. Eine bedeutende Chance ergibt sich aus dem rückläufigen Bedarf an Unterhaltsarbeiten des Winterstrassendienstes. Insgesamt erweisen sich die Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter beiden zukünfigen Szenarien als positiv (Chancen überwiegen).

1.1.5. Wasserwirtschaft

In Abbildung 6 werden die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Wasserwirtschaft aufgezeigt.

Während Hitzewellen ist die Temperatur Tag und Nacht überdurchschnittlich hoch, was zu einem höheren Wasserverbrauch führt, beispielsweise durch das Füllen von Schwimmbädern, das Duschen, die Bewässerung von Kulturland und privaten Gärten etc. Insgesamt wird von einem zusätzlichen Wasserbedarf von 175 l pro Einwohner und Tag während Hitzewellen ausgegangen. Die unter den zukünftigen Klimaszenarien prognostizierte Zunahme von Hitzewellentagen (+ 100 % unter dem Szenario schwach und + 200 % unter dem Szenario stark) und die daraus folgende Zunahme des Wasserbedarfs stellen somit ein Risiko für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft dar. Bei einem Extremereignis – d.h. ein Sommer mit überdurchschnittlich vielen Hitzewellentagen – kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten aufgrund des höheren Wasserbedarfs bedeutend sind.

Unter dem Szenario stark ist im Sommer mit einer Zunahme der Trockenperioden zu rechnen. Dies könnte zu einem Rückgang der Anzahl sicherer Quellen infolge einer Abnahme des Wasserangebots und zu einer Zunahme der Nutzung von Grund- und Seewasser führen. Der erhöhte Wasserbedarf während Trockenperioden könnte zu mehr Konflikten zwischen den verschiedenen Nutzungsarten von Wasser – Landwirtschaft, Reinigung, Schwimmbäder etc. – führen und vermehrt Restriktionen für den Umgang mit Trinkwasser erfordern.

Durch Gewitter ausgelöste Starkniederschläge können zu einem Anschwellen und Überfluten der Fliessgewässer und zu Erosion in umliegenden Bereich führen. Es können grosse Mengen an Geschiebe mitgeführt werden, wodurch nebst Infrastrukturen und Gebäuden, Wasserversorgungs- und Entsorgungsleitungen beschädigt oder zerstört werden. Die Schäden infolge dieser Gefahr sind heute im Tessin jedoch eher gering, auch bei Extremereignissen. Eine zuverlässige Einschätzung der zukünftigen Entwicklung von Gewittern ist heute nicht möglich. Für diesen Auswirkungsbereich hat sich jedoch mittels einer Sensitivitätsanalyse herausgestellt, dass eine Zu- oder Abnahme dieser Gefahr keine relevanten Auswirkungen auf die anfallenden Gesamtkosten hätte. Ein Extremereignis zeitigt heute eher geringe Kosten im Vergleich zu jenen infolge des erhöhten Wasserbedarfs während Hitzewellen. Schliesslich gilt es zu erwähnen, dass die erwähnten Risiken insgesamt sehr klein sind, im Vergleich zum Wert der gesamten Trink- und Abwasserinfrastruktur.

Zudem kann ein hoher Eintrag von Regenwasser infolge von Gewitter in Mischkanalisationen zu einem Eintrag von Abwasser in den oberflächlichen Vorfluter führen. Dies führt zu einer vorübergehenden Beeinträchtigung der Oberflächenwasser und aquatischen Ökosysteme. Auch in diesem Fall kann die zukünftige Entwicklung dieser Problematik nicht genau vorhergesagt werden, da die zukünftige Entwicklung von Gewittern nicht genau bekannt ist.

Unter den zukünftigen Klimaszenarien sind eine Änderung im saisonalen Niederschlagsregime und ein Rückgang des in der Schneedecke gespeicherten Wassers prognostiziert. Diese Änderungen könnten das Trinkwasserdargebot aus Quellen und Grundwasser beeinflussen. Unter beiden Szenarien werden eine gleichmässigere Verteilung der Abflüsse im Verlauf des Jahres sowie insgesamt etwas geringere Abflüsse im Vergleich zu heute erwartet. Was das Trinkwasser anbelangt, kann eine Abnahme des Angebots im Sommer nicht ausgeschlossen werden. Dieses Risiko wird im Tessin von geringer Bedeutung sein, dies dank einer unter mehreren Gemeinden gekoppelten Wasserversorgung.

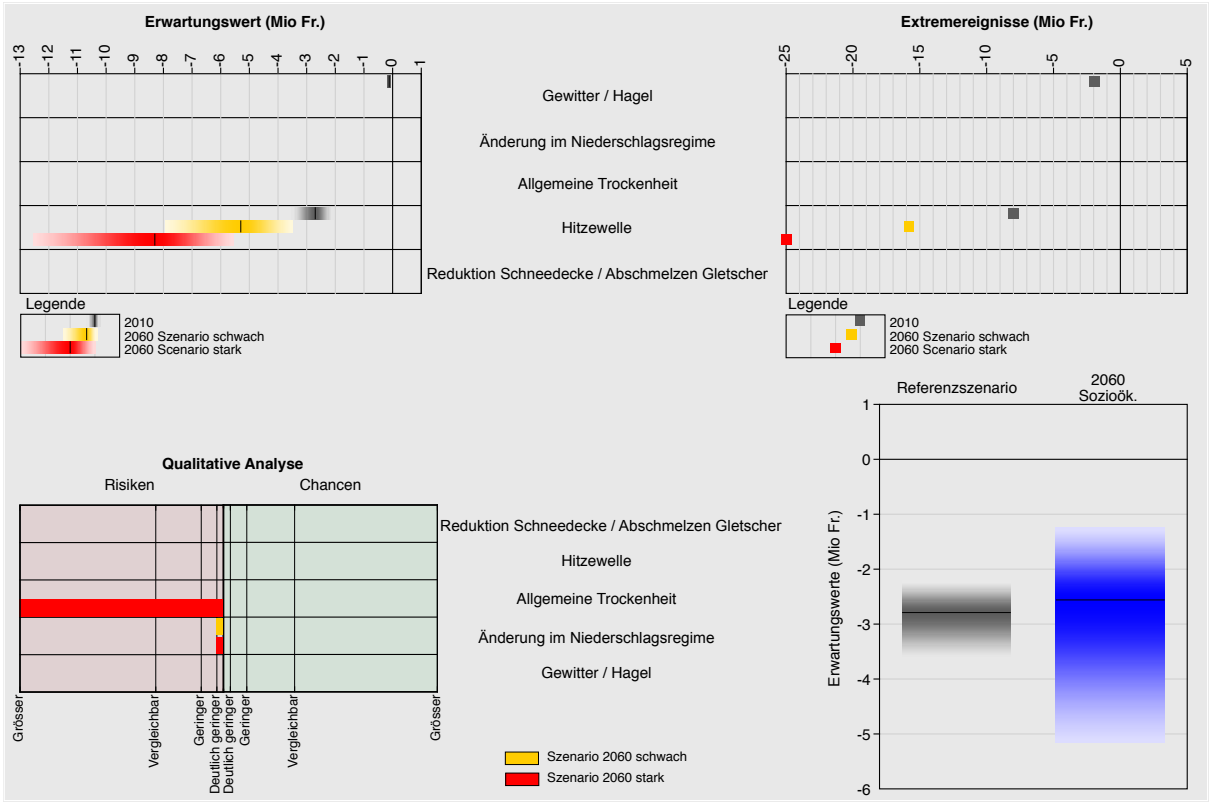


Abbildung 6: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Unter dem sozioökonomischen Szenario des Auswirkungsbereichs Wasserwirtschaft bestehen grosse Unsicherheiten. Was das Trinkwasser anbelangt, wird von einer leichten Abnahme der Kosten ausgegangen, dank sinkendem Trinkwasserbedarf pro Person infolge von Effizienzsteigerungen, neuen Technologien und einer verstärkten Sensibilisierung der Bevölkerung. Die Abnahme der Kosten werden teilweise durch das Bevölkerungswachstum und der daraus folgenden Zunahme von Infrastrukturen zur Wasserversorgung abge-

schwächt. In Zukunft könnte das Grundwasserangebot infolge der Zuanhme der bebauten Fläche gleichwohl unter Druck geraten (nur qualitativ ausgewerteter Aspekt).

Unter Berücksichtigung des zunehmenden Konfliktpotentials in Zusammenhang mit Wasserverbrauch kann davon ausgegangen werden, dass die klimabedingten Risiken im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft grösser sind als jene infolge der sozioökonomischen Entwicklungen. Die bereits stattfindenden Veränderungen umfassen in der Tat schon diverse Strategien zur Anpassung.

Fazit

Für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft stellt die Zunahme von langanhaltenden Trockenperioden das grössste Risiko dar. Um die Konflikte zwischen den verschiedenen Verbrauchern (Landwirtschaft, hydroelektrische Stromproduktion, Kühlung, Schifffahrt, Reinigung, Schwimmbäder etc.) zu regeln wird ein erhöhter Aufwand auf lokaler und internationaler Ebene erforderlich sein.

1.1.6. Tourismus

In Abbildung 7 sind die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Tourismus dargestellt.

Der Tourismus ist einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige des Tessins. Er macht rund 9.6 % des BIP aus. Aus diesem Grund sind die Auswirkungen des Klimawandels in diesem Auswirkungsbereich besonders wichtig.

Eine der Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Tourismus ergibt sich aus der zukünftigen Änderung im Niederschlagsregime. Durch die unter beiden zukünftigen Szenarien vorgesehene Abnahme der Niederschläge im Sommer, welcher die wichtigste Jahreszeit für den Tourismus im Tessin darstellt, ist mit einem Rückgang der Ertragseinbussen aufgrund von schlechtem Wetter zu rechnen.

Im Gegensatz zur prognostizierten Abnahme der Niederschläge im Sommer ist im Winter mit einem Anstieg der Niederschläge zu rechnen, welche in Zukunft weniger in Form von Schnee auftreten. Es kann davon ausgegangen werden, dass mehr Regen und weniger Schnee letztlich zu einem Rückgang der Gästezahlen und damit der Erträge während des Winters führt.

Die in Zukunft erwartete beachtliche Zunahme der Hitzewellen im Sommer wird hingegen eine Chance sein für den Tourismus im Berggebiet. Es wird angenommen, dass hitzegeplagte Bewohnerinnen und Bewohner der Tallagen häufiger höher gelegene und deshalb kühlere Erholungsgebiete aufsuchen werden, insbesondere wenn diese von den grossen Zentren aus einfach erreichbar sind. Dank diesen Entwicklungen werden die Erträge des Tourismus im Berggebiet und auf dem Land ansteigen.

In den Tallagen können die zunehmenden Hitzewellen für den Tourismus ein Risiko darstellen. In diesen Gebieten kann es während Hitzewellen übermässig heiss werden, wodurch insbesondere die nächtliche Erholung beeinträchtigt wird. Die Nähe der Seen, welche eine kühlende Wirkung auf die Lufttemperatur haben, und sozioökonomische Faktoren wie z.B. energetisch sanierte Gebäude sowie Klimaanlagen, werden diese Beeinträchtigung jedoch möglicherweise abschwächen.

Die mögliche Zunahme von Hitzewellen könnte auch für die touristische Nutzung der Fischerei ein Risiko darstellen, auch wenn es nur gering ist. Besonders lang anhaltende Hitzewellen könnten in kleinen bis mittelgrossen stehenden Gewässern zu einem Fischsterben führen. Der Fischbestand könnte sich zudem grundsätzlich wegen des veränderten Abflussregimes von Fliessgewässern und durch die steigende Temperatur des Wassers ändern. Beide Aspekte könnten die Fischerei beeinträchtigen, auch wenn letztere für den Tourismus eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Zunahme der Mitteltemperatur bis 2060 stellt eine Chance für den Tessiner Bergtourismus dar. In beiden Szenarien wird eine Verlängerung der milden Jahreszeit erwartet. Dies verlängert die Tourismussaison und steigert bei Berghütten, Seilbahnen etc. die Erträge.

Für die Skigebiete des Tessins sind die Auswirkungen des Klimawandels eine grosse Gefahr. Aufgrund der abnehmenden Schneedeckenmächtigkeit wird wahrscheinlich der Bedarf an künstlicher Beschneidung, falls möglich, zunehmen und entsprechend auch die Kosten. Zudem wird wegen Schneemangels die Skisaison kürzer. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass vom wirtschaftlichen Standpunkt her betrachtet, der Skitourismus im Tessin eher eine untergeordnete Rolle spielt.

Starkschneefälle führen bereits heute zu Schneebruchschäden im Wald, wodurch touristisch genutzte Wanderwege versperrt werden können. Dies stellt ein Risiko dar. Umgefallene Bäume können ausserdem den Tourismus in den Skigebieten beeinträchtigen respektive Umsatzeinbussen nach sich ziehen, wenn die Bäume Zufahrtsstrassen blockieren. Dadurch ist mit Ertragseinbussen zu rechnen. Solche Beeinträchtigungen sind bereits heute eher unbedeutend und werden in Zukunft aufgrund der abnehmenden Starkschneefälle unterhalb von 1‘900 m ü. M. weiter zurückgehen. Auch Extremereignisse sind im Vergleich zu den anderen quantitativ ausgewerteten Entwicklungen für den Auswirkungsbereich Tourismus eher unbedeutend. Der Rückgang von Starkschneefällen und damit die Abnahme solcher Schäden stellen eine, auch wenn beschränkte, Chance für den Tessiner Tourismus dar.

Analog zu den Starkschneefällen können auch Schneelawinen zu Unterbrüchen von Verkehrsverbindungen im Berggebiet führen, wodurch die betroffenen Skigebiete Ertragseinbussen hinnehmen müssen. Der bis im Jahr 2060 erwartete Rückgang von Lawinen in den von dieser Problematik betroffenen Gebieten wird entsprechend auch zu einer Abnahme der damit verbundenen Kosten führen. Auch diese Chance ist im Vergleich zu den anderen Ergebnissen jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Naturgefahrenereignisse wie Mure/Erdrutsch/Hangmure, Hochwasser und Steinschlag, Fels-/Bergsturz können die Wahrnehmung der Landschaft aus touristischer Sicht beeinflussen. Aus diesem Grund ist die erwartete Zunahme der Gefahren Mure/Erdrutsch/Hangmure und Hochwasser ein Risiko für den Tessiner Tourismus - auch wenn gering -, während die prognostizierte Abnahme der Gefahr Steinschlag, Fels-/Bergsturz eine Chance ist.

Die Veränderung der Mitteltemperatur könnte zu generell höheren Temperaturen von Oberflächengewässern führen. Dies könnte zum einen in den Seen extremes Algenwachstum („Algenblüte“) fördern und zum anderen die Abflüsse verringern. Beide Aspekte bedeuten Risiken für den Badetourismus. Ein anderes Risiko, das sich aus der Zunahme der Mitteltemperatur ergibt, ist die Verbreitung von Mücken, deren Stiche während der warmen Jahreszeit die Touristen quälen können. Die steigenden winterlichen Tiefsttemperaturen könnten bewirken, dass sich diese Insekten im Tessin tatsächlich weiter ausbreiten.

Das Tessin könnte durch die Zunahme der Mitteltemperatur ausserdem seine klimatischen Vorzüge gegenüber der restlichen Schweiz verlieren (bezüglich des Wetters und der Landschaft). Bezogen auf den inländischen Tourismus wird diese mögliche Entwicklung als Risiko eingestuft. Gleichzeitig könnten jedoch mehr ausländische Touristen, welche auch nur wenige Tage in der Schweiz verbringen, das Tessin als Reiseziel wählen.

Der Tourismus im Tessin ist nicht auf die hochalpinen Gletschergebiete ausgerichtet. Dennoch könnte das fortschreitende Abschmelzen der Gletscher die touristische Attraktivität einiger Ausflugsgebiete beinträchtigen. Die Folgen für den Tourismus dürften jedoch minim sein.

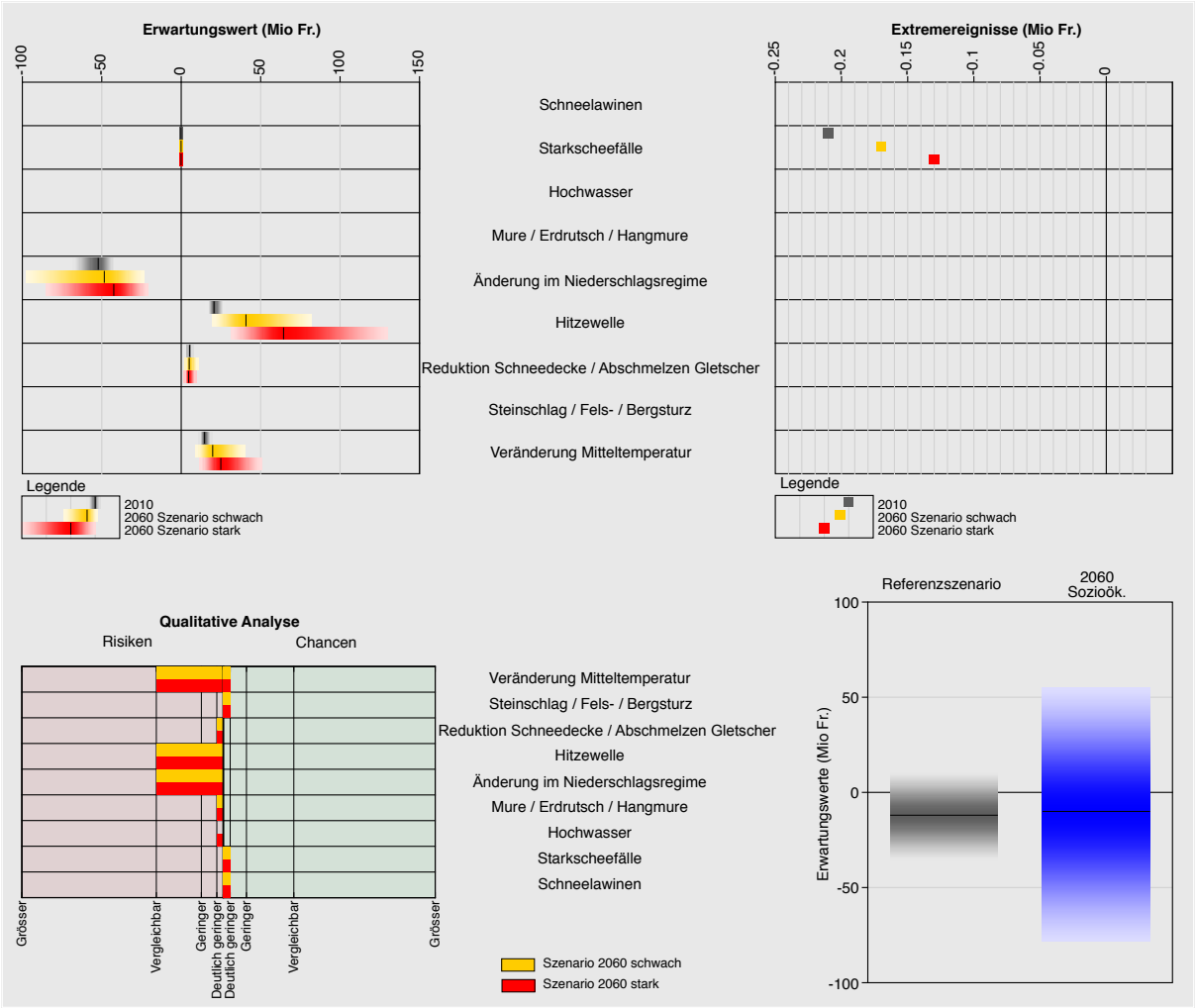


Abbildung 7: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Tourismus. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Das sozioökonomische Szenario geht davon aus, dass die touristische Nachfrage im Tessin insgesamt annähernd konstant bleibt. Tendenziell wird der Tagestourismus zunehmen und gleichzeitig die Zahl der Übernachtungen zurückgehen. Zudem erscheint es wahrscheinlich, dass der Bergtourismus zunehmen und der Skitourismus abnehmen wird. Zusammenfas-

send werden die vom Klima beeinflussten Aspekte weniger stark durch sozioökonomische Entwicklungen als vom Klimawandel betroffen sein.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus werden insgesamt als positiv bewertet. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Erträge dieses Auswirkungsbereichs stark von einer Vielzahl sozioökonomischer Faktoren (wie z. B. der Wechselkurs Fr./Euro, die sinkenden Kosten für Ferien in exotischen Ländern etc.), deren zukünftige Entwicklung nur schwer vorherzusagen ist und nur zu einem Teil vom Klimawandel abhängen.

Fazit

Die Zunahme der Mitteltemperatur und die Abnahme der sommerlichen Niederschläge weisen die grösste Chance für den Sommertourismus im Berggebiet und für Gebiete in Seenähe auf. Eines der bedeutendsten Risiken ist demgegenüber der zunehmende Schneemangel in den Skigebieten.

1.1.7. Energie

In Abbildung 8 sind die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Energie aufgezeigt.

Für den Auswirkungsbereich Energie ist die Veränderung der Mitteltemperatur am relevantesten, sowohl was die Risiken aber auch was die Chancen betrifft. In Zukunft (Zeithorizont 2060) wird von einer Abnahme der Heizgradtage ausgegangen (-15 % unter dem Szenario schwach und -33 % unter dem Szenario stark). Diese Abnahme hat einen positiven Einfluss auf die Heizkosten, welche sowohl bei Gebäuden als auch bei Fahrzeugen abnehmen werden. Die Abnahme der Heizkosten wird jedoch teilweise durch die Zunahme des Energiebedarfs für die Klimatisierung / Kühlung, infolge der höheren Mitteltemperaturen im Sommer, ausgeglichen. Die Zunahme der Kosten für die Kühlung von Wohngebäuden, privaten Fahrzeugen, öffentlichen Verkehrsmitteln, Industrien und Dienstleistungseinrichtungen wird aber geringer sein als die Abnahme der Heizkosten. Die Zunahme der Mitteltemperatur erweist sich also insgesamt als Chance für den Auswirkungsbereich Energie.

Ein Risiko, das sich aus den Auswirkungen des Klimawandels ergibt, ist die Änderung des Niederschlagsregimes. Die prognostizierten Änderungen der Intensität und Häufigkeit des Niederschlags werden zu Änderungen im Wasserabfluss führen, welche für Wasserkraftwerke sehr bedeutend sind. Unter den zukünftigen Klimaszenarien kann davon ausgegangen werden, dass die Abflüsse gleichmässiger übers Jahr verteilt sein werden und insgesamt im Vergleich zu heute etwas geringer ausfallen. Diese leichte Abnahme könnte, nebst einer anderen Wasserwirtschaft, zu einem Rückgang der Erträge von Wasserkraftwerken führen.

Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure führt bereits heute zu Ertragseinbussen bei Wasserkraftwerken, weil sie Sedimente und Schutt in die Staubecken zuführen. Die prognostizierte Zunahme dieser Gefahr erweist sich somit als Risiko für die hydroelektrische Produktion. Ein Extremereignis dieser Naturgefahr kann zu langen Betriebsunterbrüchen und damit zu sehr hohen Kosten führen. So ist unter dem Szenario stark bei einem Extremereignis mit Kosten von bis zu 150 Mio. Fr. zu rechnen.

Die unter dem Szenario stark prognostizierte Zunahme von Trockenperioden könnte ein bedeutendes Risiko (qualitativ ausgewertet) für die Wasserkraftwerke sein. Während Trockenperioden verringern sich die Abflüsse, so dass seitens der Betreiber der Wasserkraftwerke grössere Anstrengungen notwendig sind, um negative Auswirkungen auf die Umwelt zu

vermeiden. Allgemein kann es während zunehmender Trockenperioden zu mehr Wassernutzungskonflikten kommen, welche zeitweise den Turbinenbetrieb verunmöglichen.

Der Rückgang der Kältewellen im Winter erweist sich als Chance, da es dadurch zu einer Abnahme der Perioden mit hohem Energieverbrauch zum Heizen kommt. Die erwartete Abnahme (Zeithorizont 2060) wird es erlauben, dass die Heizungen mit weniger Leistung betrieben werden können. Dadurch können neue Nutzer an bestehende Netze angeschlossen werden (Fernheizungen oder Erdgas). Im Gegensatz zu den abnehmenden Kältewellen, werden die Hitzewellen in Zukunft wahrscheinlich erheblich zunehmen. Diese Zunahme wird zu einem Anstieg der Perioden mit einem hohen Kühlbedarf von Gebäuden führen. Da ein grosser Teil der Gebäude im Tessin nicht über Klimaanlagen verfügen (vgl. sozioökonomisches Szenario), wird dieses Risiko als geringer eingestuft, als andere Risiken, die sich infolge des Klimawandels ergeben.

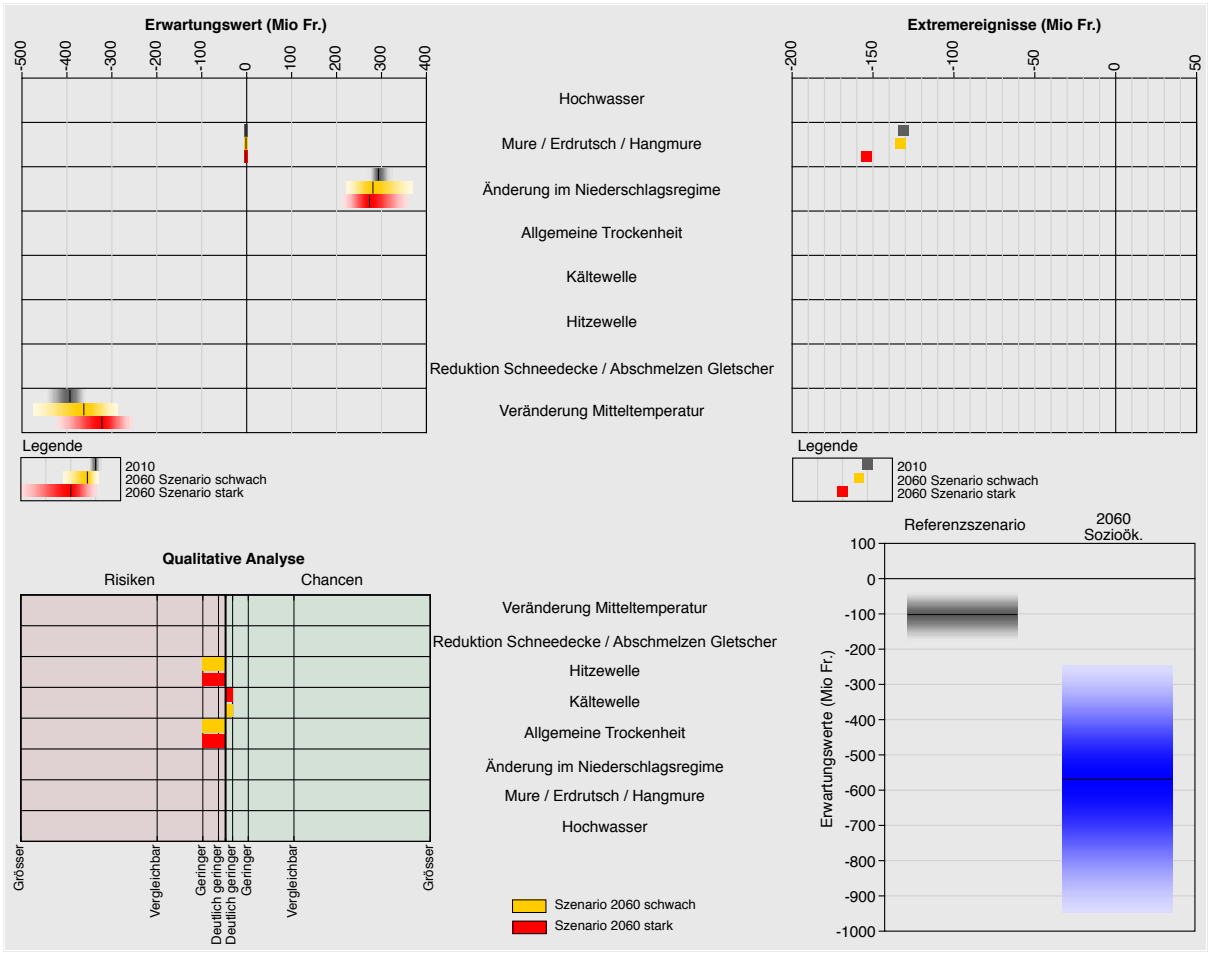


Abbildung 8: ***Wichtigste Resultate der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Energie. Oben sind die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen aufgezeigt: Erwartungswert (links) und Extremereignisse (rechts). Unten finden sich die qualitativ ausgewerteten (links) und die sozioökonomischen Auswirkungen (rechts).***

Das sozioökonomische Szenario sieht einen Anstieg der Kosten für einzelne Aspekte des Auswirkungsbereichs Energie vor, welche vom Klimawandel betroffen sind. Dies betrifft in erster Linie die mögliche Zunahme der Kosten für Heizenergie, die steigende Anzahl Gebäude und die Zunahme von Klimaanlagen.

Fazit

Die Zunahme der Mitteltemperatur im Winter erweist sich für den Kanton Tessin als grösste Chance für den Auswirkungsbereich Energie. Dank dieser Änderung wird der Energiebedarf zum Heizen kleiner werden. Das bedeutendste Risiko ergibt sich hingegen durch den zunehmenden Energiebedarf zum Kühlen während der Sommermonate. Die Änderung im Niederschlagsregime wird sich wahrscheinlich weniger stark auf die hydroelektrische Produktion auswirken, auch wenn bedeutende Änderungen in der Art und Weise der Regelung und Produktion notwendig sein werden. Im Fall eines Extremereignisses der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure könnte die hydroelektrische Produktion besonders hohe Ertragseinbussen hinnehmen.

1.1.8. Biodiversität

In Abbildung 9 sind die wichtigsten Resultate des Auswirkungsbereichs Biodiversität aufgezeigt [1].

Der Klimawandel führt unausweichlich auch zu Veränderungen der Biodiversität. Diese Änderungen sind jedoch kaum treffend vorherzusehen. Die Zunahme der Mitteltemperatur und die Abnahme des Niederschlags werden diejenigen Faktoren sein, welche die Biodiversität des Tessins am stärksten beeinflussen.

Der Klimawandel wird grosse Auswirkungen auf alpine Biotope im Tessin ausüben. Dies zeigt sich darin, dass Arten, welche heute in tieferen Lagen vorkommen, in höhere Lagen migrieren. Die bereits an Kälte angepassten Arten haben eingeschränkte Möglichkeiten, in kühlere, oft höher gelegene Lagen auszuweichen, da solche Flächen nicht genügend gross sind oder die entsprechenden Lebensräume ganz verschwinden. Biotope, die durch kalte Temperaturen geprägt sind sowie alpine Arten könnten verloren gehen, insbesondere die seltenen endemischen Arten. Andererseits kommt es durch den Rückgang der Gletscher zu neuen Lebensräumen für Pionierarten in hohen Lagen.

In den Wäldern der kollinen Stufe (Hügellandstufe) wird der Klimawandel die Zusammensetzung der Vegetation verändern, von den heutigen Laubwäldern hin zu Pflanzengesellschaften mit zunehmend exotischen, laurophyllen Arten. Ähnlich wie bei anderen Ökosystemen wird es auch in den aquatischen Ökosystemen insbesondere durch den allmählichen Temperaturanstieg (in Kombination mit Trockenperioden und Hitzewellen) der Gewässer zu Änderungen in den Lebensgemeinschaften kommen. Aufgrund dieser Erwärmung wird das Wasser weniger Sauerstoff binden können wodurch das Sterberisiko für Wasserorganismen zunimmt. Vor allem werden die Seen tendenziell weniger durchmischt und mehr eutrophiert werden. In tiefen Wasserschichten wird es zu einer Abnahme resp. zum Verschwinden des gelösten Sauerstoffs. Zudem werden auch die Lebensräume der Fliessgewässer Änderungen unterworfen sein. Generell werden die allochthonen, thermophilen Arten stark zunehmen, zulasten von einheimischen Arten. Diese Entwicklung wird auch durch die Abnahme von Kältewellen begünstigt und es wird möglicherweise zu einem Verlust der räumlichen Vielfalt kommen (biotische Homogenisierung).

[1] In Kapitel 5.9.6 findet siche in Glossar der fachspezifischen Begriffe des Auswirkungsbereichs Biodiversität.

Die Änderung des Niederschlagsregimes wird in erster Linie die aquatischen Arten und Biotope beeinflussen. Dies sind vor allem die Moore und die kleinen stehenden Gewässer, welche örtlich definitiv oder zumindest vorübergehend (Teiche) verschwinden werden. Auch das natürliche Abflussregime von Fliessgewässern wird sich ändern, mit möglichen negativen Konsequenzen auf die ökologische Durchgängigkeit. Andererseits wird es generell zu einer Zunahme von xerischen Lebensräumen kommen, wie z. B. xerische Wälder und Trockenwiesen. Die Chancen für die xerothermophilen Arten und Lebensräume sind gleichwohl schwierig auszuwerten, weil es unklar ist, wie rasch neue und stabile Ökosysteme entstehen und wie stark exotische Arten sie dominieren werden.

Eine Änderung in der Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren (Waldbrände, Rutschungen, Überschwemmung oder Orkane) hätte einen bedeutenden und positiven Einfluss auf die Biodiversität des Tessins. Heute sind diese natürlichen Störungen eher unbedeutend. Davon profitieren würden insbesondere Pionierarten oder jene Arten, welche an Störungen angepasst sind, wie beispielsweise pyrophile Arten (abhängig von Bränden).

Die Risiken der Auswirkungen des Klimawandels für die Biodiversität und die Funktionalität der Ökosysteme ergeben sich primär aus der Geschwindigkeit, mit der die Veränderungen eintreten. Wenn die Änderungen schrittweise erfolgen und die natürlichen Komponenten in der Lage sind, sich anzupassen oder genügend rasch zu entwickeln, bleiben die Funktionen wahrscheinlich erhalten, da sie von anderen Arten übernommen werden. Unter dem Szenario stark sind ohne Zweifel sehr viel mehr negative Auswirkungen zu erwarten, als unter dem Szenario schwach, weil die Veränderungen rascher ablaufen und grösser sein werden. Die Funktionalität einiger Ökosysteme wäre gefährdet und somit auch die Ökosystemdienstleistungen. Bei einigen Ökosystemen ist es nahezu sicher, dass unter beiden zukünftigen Klimaszenarien diese Änderungen zu rasch eintreten, wodurch die natürlichen, davon betroffenen Komponenten, ernsthaft beeinträchtigt würden. Als Beispiel können die Moore genannt werden, welche evtl. vollständig verschwinden werden, oder die endemischen Gebirgsarten, welche im Tessin relativ zahlreich auftreten und vom Aussterben bedroht sind.

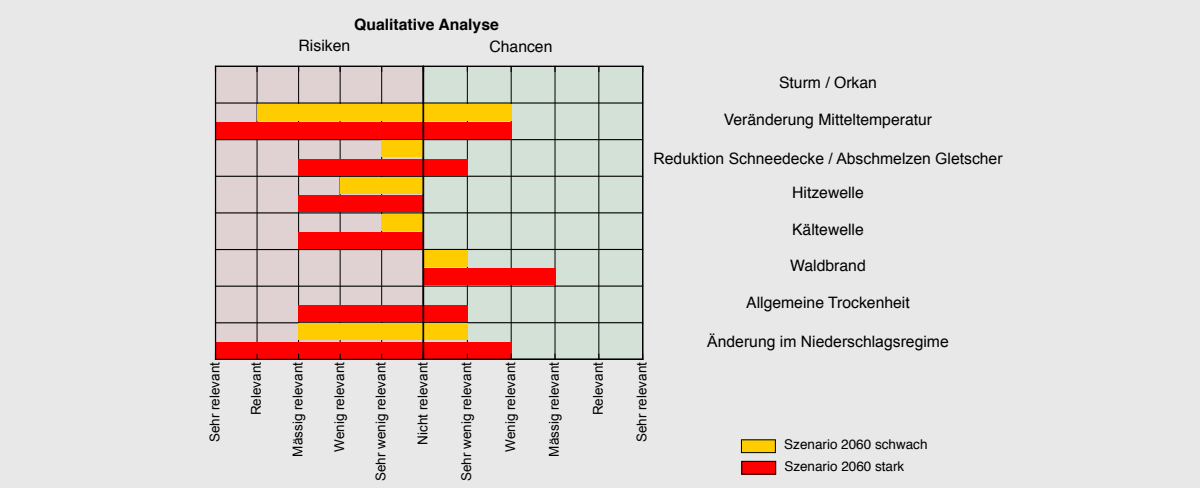


Abbildung 9: ***Wichtigste Resultate der qualitativen Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Biodiversität.***

Im sozioökonomischen Szenario wird davon ausgegangen, dass die Biodiversität in Tallagen negativen Auswirkungen unterworfen sein wird. Dies aufgrund des Bevölkerungswachstums

und der zunehmend bebauten Fläche, welche zu einer Fragmentierung der Lebensräume, zu einer Zunahme der Umweltverschmutzung und zu weiteren anthropogenen Störungen führt. In den ländlichen Tälern und Berggebieten wird die Auswirkung auf die Biodiversität wahrscheinlich positiv ausfallen. Dies deshalb, weil erwartungsgemäss immer mehr Flächen einer natürlichen Entwicklung überlassen werden.

Fazit

Auch wenn es sehr schwierig ist, die Veränderungen der Biodiversität infolge des Klimawandels zu prognostizieren, sind die bedeutendsten Faktoren, welche sowohl aquatische als auch terrestrische Biodiversität beeinträchtigen (hauptsächlich Risiken), die Veränderung der Mitteltemperatur und die Änderung im Niederschlagsregime. Die grössten Risiken ergeben sich aus dem Verschwinden von Lebensräumen, welche durch feuchte und kühle Bedingungen charakterisiert sind und den dazugehörigen Arten.

2. EINLEITUNG

2.1. ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

Der Klimawandel hat sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Umwelt, die Wirtschaft und die Gesellschaft unseres Landes. Auswirkungen des anthropogen verursachten Klimawandels sind bereits heute beobachtbar, so ist momentan auf globaler Ebene die Abschwächung dieser Auswirkungen von zentraler Bedeutung. Auch in der Schweiz wird sich das Klima, welches die Umwelt, die Wirtschaft und das Leben der Menschen beeinflusst, bis Ende des 21. Jahrhunderts weiterhin beträchtlich verändern. Aus diesem Grund ist es wichtig, nebst der Reduktion der Treibhausgasemissionen, welche prioritär sind, auch Anpassungen an den Klimawandel zu unterstützen, welche die Eigenheiten aller Regionen der Schweiz berücksichtigen.

Der Bundesrat hat dazu eine zweiteilige Strategie zur Anpassung an den Klimawandel verabschiedet. Im ersten Teil der Strategie, publiziert am 2. März 2012 (BAFU, 2012), sind die Ziele, die Herausforderungen und die Handlungsfelder der Anpassung beschrieben. Im zweiten Teil, publiziert am 9. April 2014 (BAFU, 2014a), werden die notwendigen Massnahmen zur Erreichung der festgelegten Ziele definiert. Die Risiken respektive Chancen des Klimawandels im Tessin können mittels Anpassungsmassnahmen reduziert respektive genutzt werden. Eine Liste der Handlungsfelder und der Massnahmen für jeden Auswirkungsbereich findet sich in Anhang A1.

Die Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Tessin ist Teil einer Massnahme dieser Strategie (wg4). Sie hat zum Ziel, die Gefahren und Effekte des Klimawandels für die Südschweiz zu identifizieren, sowie deren Auswirkungen auf acht verschiedene Auswirkungsbereiche zu evaluieren. Es sind dies: Gesundheit, Landwirtschaft, Wald/Waldwirtschaft, Infrastrukturen und Gebäude, Wasserwirtschaft, Tourismus, Energie und Biodiversität. Die Analyse erarbeitet die Grundlagen, um die Risiken des Klimawandels zu minimieren und die Chancen bestmöglich zu nutzen, sowie unsere Anpassungsfähigkeiten zu steigern.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat für die Abschätzung der Risiken und Chancen im Rahmen eines Pilotprojekts eine einheitliche Methode entwickelt (EBP/SLF/WSL, 2013b). Die Methode wurde für den Kanton Aargau auf deren Richtigkeit überprüft (erste Fallstudie; (EBP/WSL, 2013)). Diese Studie zeigt dass es möglich ist, die wichtigsten zukünftigen Risiken und Chancen des Klimawandels auf der Basis von aktuellen Kenntnissen zu identifizieren und auszuwerten (quantitativ und qualitativ). In der Fallstudie Aargau wurden die resultierenden Risiken und Chancen schliesslich untereinander verglichen.

Der methodische Ansatz wird insgesamt für sechs geografische Regionen (Grossräume) der Schweiz angewendet: Mittelland (repräsentiert vom Kanton Aargau), Alpen (repräsentiert von den Kantonen Uri und Graubünden), Voralpen (repräsentiert vom Kanton Freiburg), Südschweiz (repräsentiert vom Kanton Tessin), Jura (repräsentiert vom Kanton Jura) und die grossen Agglomerationen (repräsentiert von den Städten Basel und Genf).

In dieser Studie wird die zuvor erwähnte Methode für den Kanton Tessin angewandt (repräsentativ für den Grossraum Südschweiz). Dabei muss die Fallstudie Kanton Tessin erlauben, die Resultate für die gesamte Region Südschweiz hochzurechnen, d.h. nebst dem Tessin auch für die Regionen Misox und Puschlav.

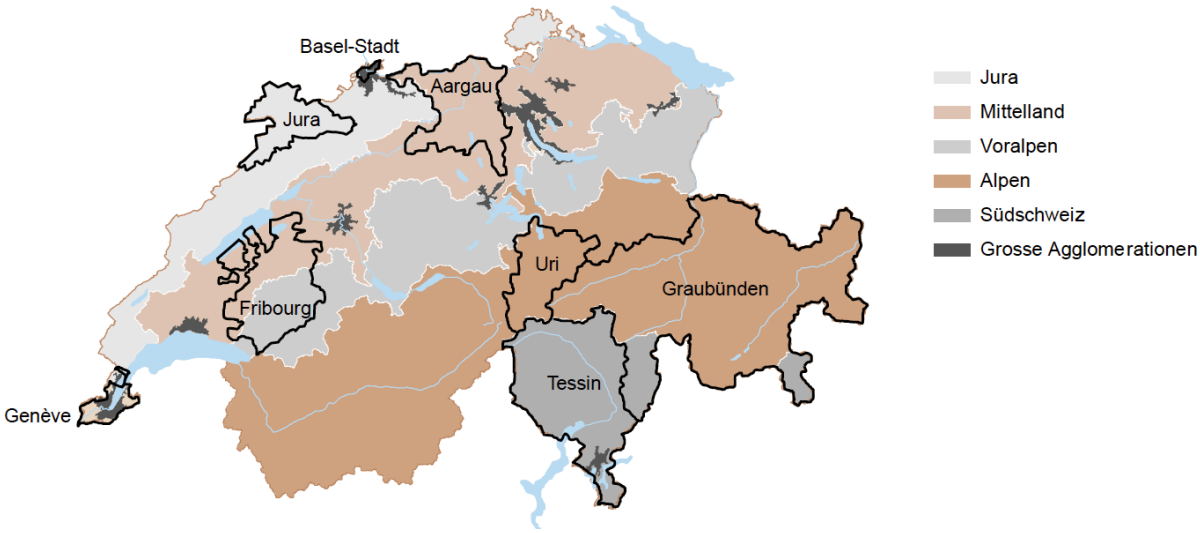


Abbildung 10: Grossräume der Schweiz für die Studie der Risiken und Chancen des Klimawandels. Quelle: (BAFU, 2015a).

2.2. KURZBESCHREIBUNG DER FALLSTUDIENREGION

Das Tessin ist der einzige Schweizer Kanton, der vollständig südlich des Alpenhauptkammes liegt. Der Kanton bedeckt eine Fläche von 2'812 km^2, was ungefähr einem Fünfzehntel der Oberfläche der Schweiz entspricht. In Nord-Süd Richtung erstreckt er sich über eine Länge von etwa 90 km und in Ost-West Richtung über 60 km. Entlang 59 % seiner Grenzlinie, d.h. über eine Länge von 208 km, grenzt er an Italien. Der Kanton reicht von seinem niedrigsten Punkt am Ufer des Lago Maggiore (193 m ü. M.) bis zum höchsten Punkt, dem Gipfel der Adula (3'402 m ü. M.). Seine Orografie ist charakterisiert durch enge Täler (SPAAS, 2003). Der Monte Ceneri (Pass) teilt den Kanton in zwei Hälften. Die nördliche Hälfte, das Sopraceneri, ist bergig, wobei mehr als die Hälfte der Fläche auf einer Höhe von über 1'500 m liegt. Die andere Hälfte, das Sottoceneri, zeigt einen eher voralpinen Charakter und öffnet sich zur Po-Ebene.

Die Tessiner Bevölkerung zählt 346'500 Einwohner (UStat, 2014b). Die Bevölkerungsdichte, bezogen auf die Gesamtfläche des Kantons, beträgt 123 Einwohner pro km^2. Verglichen mit der mittleren Bevölkerungsdichte der Schweiz von 197 Einwohnern pro km^2 oder der des Kantons Zürich mit 825 Einwohnern pro km^2 (alle Daten beziehen sich auf das Jahr 2013) ist die Besiedlungsdichte vergleichsweise gering. Bezogen auf die Siedlungsfläche (hauptsächlich in den Tälern) erreicht die Bevölkerungsdichte jedoch 2'400 Einwohner pro km^2.

Eine der wichtigsten Nord-Süd Verkehrsachsen durchquert den Kanton. Der Gotthardpass hat sowohl für den Kanton wie auch für die Schweiz eine grosse Bedeutung. Weitere wichtige Pässe, welche die Alpensüdseite mit dem Norden verbinden, sind der Lukmanier-, der Nufenen- sowie der San-Bernardino-Pass im Misox.

Das Sopraceneri unterscheidet sich vom Sottoceneri auch vom sozioökonomischen Gesichtspunkt her. So liegt z.B. die Bevölkerungsdichte im Sopraceneri generell unter 20 Personen pro km^2 und die Siedlungen sind entlang der Achse angeordnet, welche Biasca, Bellinzona und Locarno verbindet (SPAAS, 2003).

2.2.1. Klima (Niederschlag, Temperatur und Wind)

Das Klima des Kantons Tessin ist beeinflusst durch den Alpenbogen, welcher vor den frischen Nordwinden schützt, und durch die grossen voralpinen Seen. In den Tälern und in der Nähe der Seen wird das Klima als “insubrisch” definiert. Es ist durch sonnige und trockene Winter, Perioden mit Nordföhn sowie manchmal heftigen Niederschlägen in Form von Schnee gekennzeichnet. Die Sommer sind sonnig und feucht, häufig mit gewitterartigen Niederschlägen, die oft auch sehr heftig verlaufen. Regenfälle treten vermehrt im Frühling sowie zum Sommerende bis in den Herbst hinein auf (SPAAS, 2003).

Obwohl es weniger Regentage im Vergleich zur Alpennordseite gibt, sind die Regenmengen grösser, besonders im Nordwesten des Kantons (vgl. Abbildung 11).

Die wichtigsten Klimaparameter des Kantons Tessin (Temperatur, Niederschläge und Sonneneinstrahlung) sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

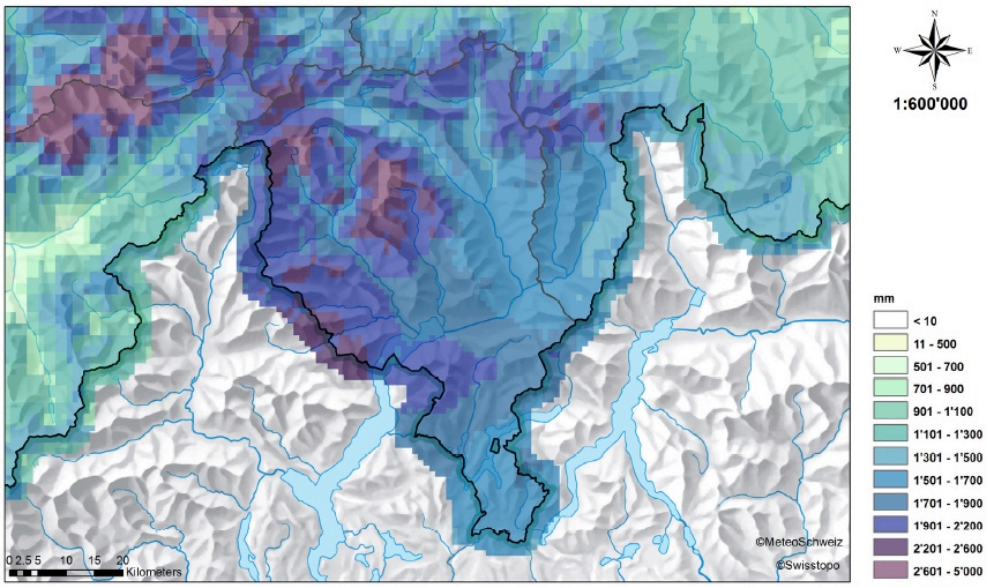


Abbildung 11: ***Niederschlagsverteilung (mm) südlich der Alpen, Mittlere Jahreswerte (Bezugszeitraum 1981-2010) (MeteoSchweiz, 2012b).***

Klimaparameter	Wert
Mittlere Temperatur des Monats Juli im Zeitraum 1981-2010	22.1°C
Mittlere Temperatur des Monats Januar im Zeitraum 1981-2010	3.3°C
Mittlere Jahresniederschläge im Zeitraum 1981-2010	1’559 l/m^2
Mittlere jährliche Sonneneinstrahlung im Zeitraum 1981-2010	1’228 $\frac{kWh}{a \cdot m^2}$
Mittlere Jahressonnenstunden im Zeitraum 1981-2010	2'069 Stunden

Tabelle 1: ***Klimaparameter und ihre typischen Werte im Kanton Tessin (MeteoSchweiz, 2012b).***

Die Windverhältnisse sind typisch für das Gebiet, zudem sind sie wichtig für die Luftqualität im Kanton. Die Luftströme, welche die Alpen von Nord nach Süd oder umgekehrt überqueren, sind diejenigen, welche hauptsächlich den Luftaustausch und damit die Zusammenset-

zung der Luft im Kanton beeinflussen. Die Alpen schützen hingegen vor den Höhenwinden, welche von West nach Ost wehen. Die südlichen Winde sind in der Regel in den Tälern nur wenig spürbar, während in der Höhe die Windgeschwindigkeiten häufig beachtlich sind (SPAAS, 2003).

2.2.2. Gesundheit

Für die Gesundheit der Tessiner Bevölkerung wird in 14 Spitälern und Kliniken gesorgt. Insgesamt 23'500 Angestellte arbeiten im hiesigen Gesundheitswesen (UStat, 2014b). Die Gesamtkosten des Gesundheitswesens in Tessin betragen ca. 2.5 Milliarden Franken (Gianocca, 2005), was 13.4 % des kantonalen BIP entspricht.

Im Tessin, wie auch in der restlichen Schweiz, sind Sterblichkeit und Anzahl von Notfalleinsätzen durch Hitzewellen eng mit dem Alter der Bevölkerung korreliert; ältere Menschen sind am stärksten gefährdet. Im Sommer 2003, als die Mitteltemperaturen um 3 bis 6°C über der Norm lagen, nahm die Sterblichkeitsrate der Bevölkerung im Alter ≥65 Jahren um 1 % und im Alter ≥75 Jahren um 4 % zu. Bedeutungsvoller war der Anstieg der Anzahl der Notfalleinsätze mit Krankenwagen; im Juni 2003 wurde ein Anstieg von 33 % für die Bevölkerung im Alter ≥65 Jahren und von 36 % im Alter ≥75 Jahren beobachtet (Cerutti, et al., 2004). Die vergleichsweise geringe Zunahme der Sterblichkeit aufgrund von Hitzewellen im Tessin, bezogen auf andere europäische Orte, könnte mit dem fast mediterranen Klima (die Bevölkerung ist Perioden intensiver Hitze gewöhnt), dem Fehlen grosser Metropolen, der soziokulturellen Situation (reduzierte Isolierung dank im Allgemeinen gut entwickelter Familienverbundenheit und Nachbarschaft) sowie der Verbreitung des Telealarmsystems im Kanton zusammenhängen. In den kommenden Jahren könnte die Verletzlichkeit der Tessiner Bevölkerung gegenüber Hitze zunehmen, und zwar aufgrund des Alterns und der Verarmung der Bevölkerung sowie der Abnahme sozialer Kontakte.

In den letzten Jahrzehnten haben Klimawandel und Globalisierung des Güterverkehrs dem Tessin neue Überträger exotischer Krankheiten gebracht. Es handelt sich dabei um gebietsfremde Mückenarten, welche Leishmaniose, Denguefieber oder Chikungunyafieber übertragen können. Weiterhin konnte ein Anstieg von Zecken in höheren Höhen und nördlichen Breiten und eine Abnahme in niedrigeren Höhen und südlicheren Breiten des Kantons beobachtet werden (UFSP/UFAFP, 2005). Zecken können zwei bedeutende Krankheiten übertragen: die Lyme-Borreliose und die Zecken-Enzephalitis.

Mit der Temperaturzunahme hat auch die Menge und Verbreitungsdauer von Pollen zugenommen (insbesondere Haselnuss-, Birken- und Graspollen (UFSP/UFAFP, 2005)). Menschen, die an allergischem Asthma und Heuschnupfen leiden sind demzufolge während eines längeren Zeitraums der Pollenbelastung unterworfen.

Klimawandel und Globalisierung des Güterverkehrs sind hauptverantwortlich für die zunehmende Ausbreitung von gebietsfremden Tier- und Pflanzenarten, welche einen Einfluss auf die Gesundheit von Menschen und Nutztieren haben können. Das Beifussblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*), sie ist hochgradig allergen, der Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum)*, eine phototoxische Pflanze, welche durch Kontakt schwere Hautentzündungen verursacht, oder das Schmalblättrige Greiskraut *(Senecio inaequidens)*, eine Art, welche Leberzirrhose und Leberzellkarzinome bei Nutztieren auslöst, sind nur einige Beispiele (UFSP/UFAFP, 2005).

2.2.3. Landwirtschaft

Die Tessiner Landwirtschaft basiert auf drei Säulen: Milchwirtschaft, Obst- und Gemüseanbau sowie Weinerzeugung. Im Landwirtschaftssektor sind zurzeit weniger als 2 %, beziehungsweise etwa 3'000 Personen der aktiven Tessiner Bevölkerung beschäftigt (ein Prozentsatz, der in den letzten 100 Jahren drastisch zurückgegangen ist). Im Jahr 2011 gab es 1'177 Landwirtschaftsbetriebe im Tessin (2 % aller Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz), davon 113 Biobetriebe (rund 10 %, mit etwa 300 Beschäftigten). Die landwirtschaftliche Nutzfläche bedeckt etwa 5 % des Kantons, respektive 14'115 ha (minus 0.8 % seit 2000), wovon zwei Drittel Wiesen und Weiden sind. Die Landwirtschaft im Talboden konzentriert sich hauptsächlich in der Magadinoebene, im Rivieratal und im Mendrisiotto (Feldanbau) sowie im Luganese Locarnese und Mendrisiotto (Weinanbau).

Die Landwirtschaft ist dem Klima und dem Klimawandel seit jeher ausgesetzt. Die landwirtschaftliche Produktion muss, neben den Änderungen von Temperatur und Niederschlagsverhältnissen, auch neu auftretenden Insekten, Pflanzenkrankheiten und Unkraut Rechnung tragen. Allein der Weinerzeugungssektor ist in zunehmendem Masse Opfer neuer Schädlinge und Krankheiten (z.B. die seit 2004 im Tessin verbreitete Rebkrankheit Goldgelbe Vergilbung oder die seit 2011 verbreitete Kirschessigfliege).

2.2.4. Wald und Waldwirtschaft

Rund 50 % der Kantonsfläche sind mit Wald bedeckt. Neben seinem Beitrag zum Landschaftsbild und der Bedeutung als Erholungsraum für Freizeitaktivitäten, hat der Tessiner Wald eine Produktions- (in Form von Rohstoffen und Energie) sowie Schutzfunktion. Aus den Daten des Projektes SilvaProtect resultiert, dass sich etwa ein Fünftel der Schutzwälder der Schweiz im Tessin befinden. Auf kantonaler Ebene wird vermutet, dass rund 39 % der Tessiner Wälder eine direkte Schutzfunktion gegenüber Siedlungen, Infrastruktur und Verkehrswegen übernehmen. Aufgrund seiner geografischen Lage innerhalb des Alpenbogens und seiner topografischen und morphologischen Eigenschaften, ist das Gebiet des Kantons Tessin den meisten Arten von Naturgefahren ausgesetzt, von Überschwemmungen bis zu Hochwassern, von Lawinen bis Erdrutschen und Steinschläge. In diesem Zusammenhang sind die ausgedehnten Wälder ausserordentlich wichtig für die Linderung der Auswirkungen dieser Naturphänomene (Ceschi, Il bosco del Cantone Ticino., 2006). Die Artenzusammensetzung und die Entwicklung des Waldes sind dabei erheblich vom Klima abhängig.

2.2.5. Infrastruktur und Gebäude

Das Tessin zählt 220'000 Wohnungen und über 103'000 Wohnhäuser (Daten von 2011). Ca. 83 % dieser Wohneinheiten befinden sich in den Ballungsräumen von Lugano, Locarno, Bellinzona und Chiasso-Mendrisio. Die bebaute Fläche des Tessins beträgt 6'420 ha und bedeckt 2.3 % des Kantons. Dieser Prozentsatz ist in den letzten Jahren signifikant angestiegen; in den 80er Jahren betrug er noch 1.7 % (UStat, 2014b).

Das Tessin verfügt über etwa 3'148 km Strassen, wovon 137 km Nationalstrassen sind. Die Eisenbahn erstreckt sich über ungefähr 150 km. Der einzige für kommerzielle Flüge geöffnete Flughafen liegt in Lugano-Agno.

Etwa 100 Bergbahnen sind im Tessin in Betrieb, wovon ungefähr zwei Drittel Skilifte sind. Anders als die meisten Anlagen in der Schweiz werden die Seilbahnen im Tessin im Sommer und im Winter nahezu gleich oft benutzt (SBS, 2014).

Die Energieverteilernetze (besonders von Strom und Gas) stellen ebenfalls eine wichtige Infrastruktur dar.

2.2.6. Wasserwirtschaft

Im Kanton Tessin gibt es etwa 140 Oberflächengewässer. Dazu zählen die zwei grossen Seen (Lago Maggiore und Luganersee), die Seen von Origlio, Muzzano und Astano, die für die Produktion hydroelektrischer Energie genutzten Seen und die natürlichen Alpenseen (SPAAS, 2003).

Die Wasserführung der Fliessgewässer ist sehr variabel. Aufgrund der steilen Hänge, der flachgründigen Böden und der geringen Durchlässigkeit der Gesteine, können die Niederschläge zu einem plötzlichen Anstieg in der Wasserführung führen. Wasserversorgung und Verbrauch sind eng an das vorherrschende Klima gebunden.

Das klare, mit Sauerstoff angereicherte Wasser fliesst mit hoher Geschwindigkeit vor allem im oberen Teil des Fliessgewässers. Hier besteht das Bachbett aus Steinen und grossen Felsblöcken, und die Erosion des Grundes überwiegt gegenüber der Ablagerung. Nur in den flachen Bereichen wird Material abgelagert, das Wasser fliesst langsamer und das Bachbett ist kiesig oder sandig (SPAAS, 2003).

Waser ist eine lebenswichtige Substanz und ist auch für verschiedene menschliche Tätigkeiten von fundamentaler Wichtigkeit: Bewässerung in der Landwirtschaft, Produktion von hydroelektrischer Energie, Kühlung von Anlagen in industriellen Prozessen, Heizung von Gebäuden, Schifffahrt etc. Die Wasserwirtschaft muss den Wasserverbrauch regeln, ohne dass die Biodiversität vernachlässigt wird.

Die Wasserwirtschaft ist zuständig für die Versorgung mit Nutzwasser und die Entsorgung des Brauchwassers. Gegen 729 Personen arbeiten in diesem Sektor (UStat, 2014b).

2.2.7. Tourismus

Der Kanton Tessin lebt hauptsächlich vom Dienstleistungsgewerbe. Der Tourismus ist einer der wichtigsten Wirtschaftszweige. Auf kantonaler Ebene sind 12 % aller Erwerbstätigen (Vollzeitäquivalent) und 9.6 % der kantonalen Bruttowertschöpfung auf touristische Aktivitäten zurückzuführen (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014).

Die klimatischen Bedingungen, die Schönheit der Landschaft, der Reichtum an Kulturgütern und die Qualität der Unterkünfte bilden die Hauptkomponenten der traditionellen touristischen Attraktivität des Kantons (SPAAS, 2003).

2.2.8. Energie

Der Sektor Energie beschäftigt 1’200 Personen (UStat, 2014b). Die jährlichen Ausgaben für die Energie in Tessin erreichen rund 1.5 Milliarden Franken und der mittlere Energieverbrauch pro Kopf beträgt im Tessin 29.6 MWh/Jahr (der gesamte Energiekonsum des Kantons Tessin belief sich im Jahr 2013 auf 10'265 GWh). Als Energiequellen dienen zu 55 %

Erdölprodukte, zu 31 % Strom (Insgesamt 3'185 GWh/Jahr), zu 11 % Erdgas und zu 3 % Holz, Erdwärme und Solarthermik (SUPSI, 2014).

Mobilität und Wohnen stellen dabei den Hauptenergieverbrauch dar (2013 etwa 60 %). Industrielle Prozesse und die Wirtschaft sind verantwortlich für etwa 30 % des Energieverbrauchs, wobei sie einen hohen Anteil über Strom abdecken (SUPSI, 2014).

Der Kanton Tessin ist ein wichtiger Stromproduzent. Herausragend ist der hydroelektrische Sektor, welcher etwa 3'664 GWh/Jahr (langjährige Durschnitt) erneuerbare Energie liefert. Derzeit spielen andere Stromquellen (kleine hydroelektrische Anlagen, Trinkwasserkraftwerke, Fotovoltaikanlagen und KWK-Anlagen) in absoluten Zahlen eine begrenzte Rolle (etwa 25-30 GWh/Jahr) (SUPSI, 2014). Der Verbrauch und die Produktion von Energie sind von der Ausprägung des Klimas abhängig.

2.2.9. Biodiversität

Eine Vielzahl ökologischer Faktoren bestimmt den aussergewöhnlichen Reichtum der natürlichen Lebensräume und damit die biologische Vielfalt des Tessins. In einem relativ begrenzten Gebiet sind geologisch unterschiedlichste Untergründe und verschiedene klimatische Verhältnisse zu finden. Sie reichen von einem fast tropischen (Brissago-Inseln) und einem submediterranen Mikroklima (z. B. Castagnola), bis zu einem insubrischen Mesoklima im Bereich der grossen voralpinen Seen, hin zu einem subatlantischen Klima der westlichen Täler (Centovalli, Verzasca), einem eher kontinentalen Klima im Bereich Riviera-Leventina, einem borealen Klima des subalpinen Gürtels und einem polaren Klima oberhalb von 2'000 m ü. M.. Die Gipfel des Monte San Giorgio, des Generoso, des Tamaro, der Camoghè-Gazzirola und Gridone bildeten während der Eiszeit Nunataks. Dies erklärt die Artenvielfalt und die endemischen Arten in diesen Regionen.

Der Mensch hat die Vegetation beinahe auf der gesamten Fläche des Tessins beeinflusst. Ein wichtiger Teil der Biodiversität steht in Verbindung mit den traditionellen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungen, wie den Alpwiesen, den Niederwäldern, den Wiesen und der extensiven Beweidung, den traditionellen Wein- und Obstgärten, den Streuwiesen und allen mit ihnen verbundenen Strukturen. Dieser Teil der Biodiversität ist bedroht.

Der Klimawandel wirkt sich zunehmend auf die Biodiversität des Tessins aus, indem er das ökologische Gleichgewicht stört, welches sich in den vergangenen 20’000 Jahren eingestellt hat.

Es wird geschätzt, dass das Tessin der Kanton mit dem bedeutendsten Pflanzenreichtum ist. Er beheimatet ungefähr 2'400 verschiedene Gefässpflanzenarten. Im Tessin gibt es etwa 750 Moosarten (Moose und Lebermoose), geschätzte 3’500 verschiedene Pilze, über 2’000 verschiedene Flechten und 40’000 Tierarten, der überwiegende Teil davon sind Wirbellose.

Die genetische Vielfalt innerhalb der Arten ist ebenfalls ein Bestandteil der Biodiversität. Sie ergänzt die Vielfalt der Ökosysteme und der Artenvielfalt. Für das Tessin (und für die Schweiz) existieren nur für wenige Arten Daten über die genetische Vielfalt. Es ist jedoch bekannt, dass bei Populationen welche isoliert voneinander sind oder solchen, die am Rande eines Verbreitungsgebietes vorkommen, normalerweise genetische Differenzierungsprozesse eintreten, welche einzigartige Genotypen hervorbringen. Bezüglich der Arten, deren Schwerpunkt sich im Mittelmeerraum befindet, liegt das Tessin im Grenzbereich. Die alpinen

Arten kommen in zahlreichen isolierten Populationen vor. Es kann daher angenommen werden, dass das Tessin auch im Hinblick auf die genetische Komponente der biologischen Vielfalt einen grossen Reichtum besitzt (Museo Cantonale di Storia Naturale, 1990).

3. METHODIK

3.1. GEFAHREN UND EFFEKTE DES KLIMAWANDELS

Die mit dem Klimawandel eintretenden Veränderungen der Temperatur, des Niederschlags und der Winde werden Veränderungen im Auftreten (Intensität oder Wiederkehrperiode) von verschiedenen Gefahren und Effekten zur Folge haben.

In Abbildung 12 sind die Gefahren und Effekte des Klimawandels aufgezeigt, welche in der vorliegenden Studie analysiert werden. Sie wurden im Rahmen der Fallstudie des Kantons Aargau definiert (EBP/SLF/WSL, 2013) und werden für diese Fallstudie angewandt um die Ergebnisse untereinander vergleichen zu können. Die Gefahren und Effekte sind nach dem meteorologischen Faktor (Wind, Temperatur und Niederschlag) und nach deren Dauer (Stunden bis Tage, Wochen, Monate bis Jahre) unterteilt. Auf die zukünftige Entwicklung dieser Gefahren und Effekte wird in Kapitel 4.5 eingegangen.

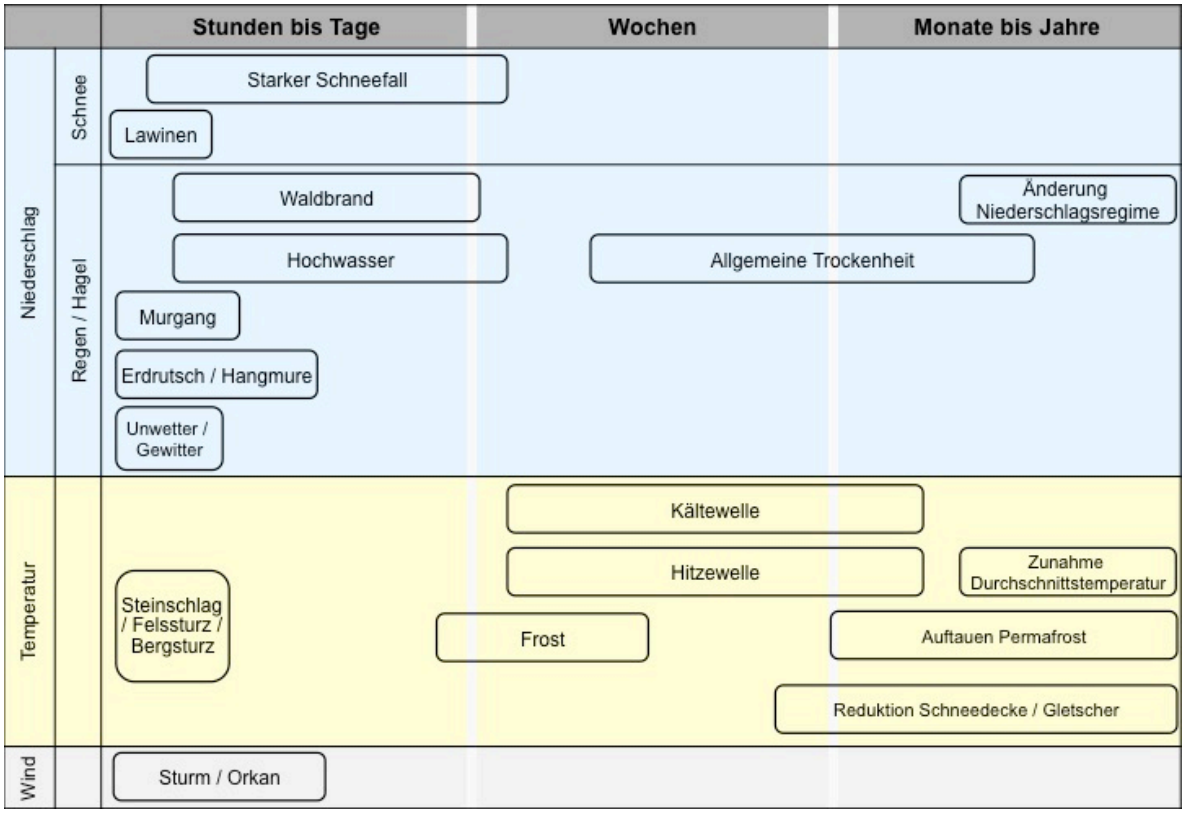


Abbildung 12: ***Gefahren und Effekte des Klimawandels. Die Gefahren und Effekte sind in Abhängigkeit des meteorologischen Faktors (Wind, Temperatur oder Niederschlag) und nach deren Dauer unterteilt (EBP/SLF/WSL, 2013b).***

3.2. DEFINITION DER RISIKEN UND CHANCEN

Was für einige eine Chance bietet, kann für andere je nach Perspektive ein Risiko sein. Beispielsweise ist der mittlere Temperaturanstieg für die Gesellschaft insofern eine Chance, weil weniger Heizkosten entstehen, ist aber ein Risiko für Firmen, die Heizöl oder Erdgas verkaufen. Im vorliegenden Bericht ist die Perspektive, die für die Einschätzung angewendet

wird, ob eine Änderung eine Chance oder ein Risiko darstellt, jene der Gesellschaft und der Klimapolitik.

Der Klimawandel kann zu Gefahren und Effekten führen, welche potentielle Schäden unterschiedlichen Ausmasses nach sich ziehen.

In vereinfachter Weise können potentielle Schäden auch als Produkt von drei Faktoren ausgedrückt werden:

Potentielle Schäden = Gefährdung × Werte × Verletzlichkeit

Falls der Klimawandel zu einem Anstieg der potentiellen Schäden führt, wird von Risiken gesprochen. Der Klimawandel kann auch positive Auswirkungen haben, welche falls genutzt, zu einem Mehrwert führen können. Zudem kann er auch zur Reduktion von potentiellen Schäden bereits existierender Gefahren führen. In diesem Fall wird in der vorliegenden Studie der Begriff Chance verwendet.

In vorliegendem Bericht ist die *Gefährdung* durch 16 Gefahren und Effekte repräsentiert. Diese, z.B. ein Murgang, ist durch dessen Intensität (Stärke und Ausbreitung) und Häufigkeit resp. Eintrittswahrscheinlichkeit (z.B. hundertjährlich, Wiederkehrperiode von 100 Jahren) bestimmt. Der Klimawandel beeinflusst nur die Gefährdung: Eine bestimmte Naturgefahr kann intensiver/schwächer oder häufiger/seltener auftreten. Zu den *Werten* gehören die Personen, Tiere, materiellen Güter, Gebäude etc., welche der Gefahr ausgesetzt sind und welche verletzt oder beschädigt werden können (z.B. durch einen Murgang). Die *Verletzlichkeit* bestimmt den Schaden, welche die Werte erleiden können, wenn sie einer bestimmten Intensität einer Gefährdung ausgesetzt werden. Sie ist von drei Faktoren abhängig: Exposition, Sensibilität und Anpassungsfähigkeit.

Man spricht von potentiellen Schäden, wo Werte einer Gefährdung ausgesetzt sind. Die Schäden, welche tatsächlich entstehen, sind folglich nicht bloss von der Gefahr, sondern auch von ihrem Wert und ihrer Verletzlichkeit abhängig. Die Massnahmen einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel haben als Minimalziel, die potentiellen Schäden nicht zu erhöhen. Ausgehend von der oben aufgeführten Gleichung, kann dies nur erreicht werden, wenn die Verletzlichkeit der Werte reduziert wird. Die Gefährdung kann nur mittels Klimaschutzmassnahmen reduziert werden (insbes. Reduktion der Treibhausgas-Emissionen).

In diesem Bericht werden auch die Risiken und Chancen quantifiziert, welche nicht direkt auf potentielle Schäden zurückzuführen sind. Teils ist diese Aufgabenstellung jedoch schwieriger, weil die Schäden als direkte Konsequenz einer Gefahr oder Effekts entstehen und somit besser abgegrenzt und abgeschätzt werden können. Die Chancen, welche nicht mit potentiellen Schäden verknüpft sind, müssen aktiv gesucht werden, damit ein wirtschaftlicher Mehrwert erzeugt werden kann. Im Unterschied zu einem Risiko macht es keinen Sinn, von einer Chance mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren zu sprechen (ANU, 2015).

3.3. AUSWIRKUNGSBEREICHE

Die Risiken und Chancen, welche infolge des Klimawandels auftreten (vgl. Kapitel 3.1), werden für verschiedene Auswirkungsbereiche analysiert: Gesundheit, Landwirtschaft, Wald/Waldwirtschaft, Infrastrukturen und Gebäude, Wasserwirtschaft, Tourismus, Energie und Biodiversität (vgl. EBP/SLF/WSL, 2013).

3.4. INDIKATOREN UND MONETARISIERUNG

Die 16 Gefahren und Effekte des Klimawandels (vgl. Kapitel 4.1) werden mittels Indikatoren quantifiziert, vgl. (EBP/SLF/WSL, 2013b).

Die Indikatoren müssen folgende Kriterien erfüllen: Sie müssen die Folgen der verschiedenen Gefahren und Effekte passend abbilden, sie sollten quantifizierbar und bewertbar („positiv oder negativ“) und wenn möglich monetarisierbar sein. Dazu sollten Daten zur Verfügung stehen oder es müssen Schätzungen machbar sein.

Eine Liste der in dieser Studie angewandten Indikatoren findet sich in Tabelle 2. Diese Monetarisierung der verschiedenen Indikatoren erlaubt es, die Risiken und Chancen des Klimawandels zwischen den verschiedenen Auswirkungsbereichen zu vergleichen. Die monetären Werte sind dabei nicht als absolute Zahlen zu verwenden, sondern dienen einzig der Vergleichbarkeit. Die monetarisierbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesellschaft sind als Kosten definiert.

	Indikator	**Einheit**	**Monetarisierung (in CHF)**
Wirtschaft	Erträge	in CHF	1:1
	Kosten	in CHF	1:1
	Vermögensschäden und Bewältigungskosten	in CHF	1:1
Gesellschaft	Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	50
	Kältebetroffene	Anzahl Personen-Eistage	10
	Evakuierte	Anzahl	10'000
	Durch Schadenereignis Betroffene	Anzahl	10'000
	Durch Siedlungsflächenverlust Betroffene	Anzahl	100'000
	Arbeitsplatzverlust	Anzahl	100'000
	Arbeitsplatzgewinn	Anzahl	100'000
	Von Allergien Betroffene	Anzahl Personentage	10
	Verletzte & Erkrankte	Anzahl	100'000
	Tote	Anzahl	5'000'000
Umwelt	Qualitative Analyse der Veränderung von Artenvielfalt und der Fläche wertvoller Biotope		

Tabelle 2: Indikatoren für die Monetarisierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft, die Gesellschaft und die Umwelt (EBP/SLF/WSL, 2013b).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt (Auswirkungsbereich Biodiversität) können nicht wie die anderen Auswirkungsbereiche quantitativ bewertet werden. In dieser Studie werden demnach die Risiken und Chancen des Klimawandels im Bereich Biodiversität ausschliesslich qualitativ und nicht quantitativ ausgewertet.

3.5. ERWARTUNGSWERT UND WIEDERKEHRPERIODE

Die zukünftigen Risiken und Chancen des Klimawandels werden auf der Basis des aktuellen Erwartungswertes ausgewertet. Im Falle von durch Naturgefahren verursachten Schäden basiert der Erwartungswert auf der Wiederkehrperiode der jährlichen Schadenssummen. Um die Wiederkehrperiode einzuschätzen, werden die unterschiedlich hohen jährlichen Schadenssummen in Klassen unterteilt. So haben Schadenssummen, welche annäherungsweise alle Jahre während des Beobachtungszeitraumes erreicht werden, eine Wiederkehrperiode von einem Jahr. Schadenssummen, welche ca. 6 mal während den vergangenen 30 Jahren erreicht wurden, wird eine Wiederkehrperiode von 5 Jahren zugeordnet, Summen, welche 3 mal erreicht wurden, erhalten eine Wiederkehrperiode von 10 Jahren und jene, die nur 1 mal erreicht wurde, eine von 30 Jahren.

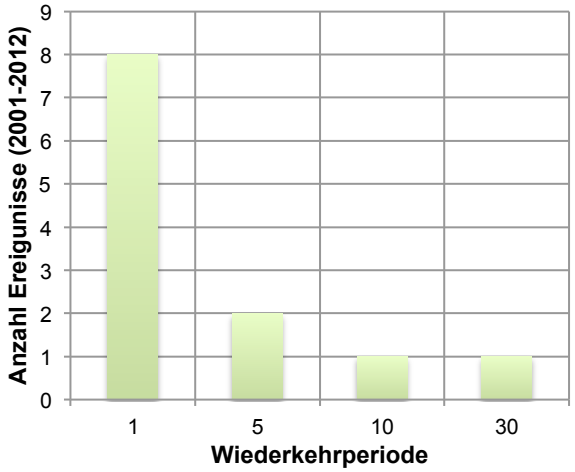


Abbildung 13: Beispiel der Einteilung von jährlichen Schadenssummen zu Wiederkehrperioden. In acht der zwölf Jahre erreichen die Schadenssummen schätzungsweise jährlich wiederkehrende Beträge, in zwei Jahren wird die Wiederkehrperiode auf 5 Jahre geschätzt und in je einem Jahr auf 10 respektive 30 Jahre.

Zum Vergleich der Ergebnisse wird die durch verschiedene Naturgefahren erzeugte Schadenssumme in einer spezifischen Kategorie (z.B. Gebäude, mobile Güter, Bahn, Evakuierte, Verletzte, Tote etc.) in Klassen von Wiederkehrperioden unterteilt (vgl. Anhänge A3-A6).

Der Erwartungswert entspricht also der Summation der mittleren Schadensumme für jede Klasse einer Wiederkehrperiode. Für das in Abbildung 13 dargestellte Beispiel ist der Erwartungswert wie folgt berechnet:

$$E_{Schaden} = \frac{0.2 \text{ Mio. CHF}}{1 \text{ Jahr}} + \frac{0.5 \text{ Mio. CHF}}{5 \text{ Jahre}} + \frac{0.9 \text{ Mio. CHF}}{10 \text{ Jahre}} + \frac{2.2 \text{ Mio. CHF}}{30 \text{ Jahre}} = 0.5 \frac{\text{Mio. CHF}}{\text{Jahr}}$$

Für die Berechnung der zukünftigen Szenarien wird die Variabilität der Naturgefahren für die verschiedenen Wiederkehrperioden individuell ausgewertet.

3.6. UNSICHERHEITEN

In der vorliegenden Studie werden die Unsicherheiten aller Auswirkungen der Gefahren und Effekte des Klimawandels bestimmt.

Unsicherheit	Unsicherheitsfaktor f	Beispiele		
		Unsicherheiten in den Modellen der Risikobewertung und der aktuellen Möglichkeiten.	Unkenntnis der Auswirkungen der Klimaszenarien auf die zukünftigen Risiken und Chancen.	Unkenntnis der Auswirkungen der sozioökonomischen Szenarien auf die zukünftigen Risiken und Chancen.
sehr gering	0.93 ≤ f ≤ 1.1	Die momentanen Risiken können aus Tessiner-Statistiken abgeleitet werden.	-	-
gering	0.8 ≤ f ≤ 1.3	Die heutigen Risiken können aus Schadenstatistiken abgeleitet werden.		Entwicklung der Bevölkerung, der landwirtsch. nutzbaren Oberfläche und der Waldoberfläche.
mittel	0.5 ≤ f ≤ 2	Die Risiken hängen von Extremereignissen ab, deren Wiederkehr ist schwierig abzuschätzen.	Konsequenzen von Dürren und Hitzewellen für die Landwirtschaft oder die Energieproduktion.	Zunahme der land- oder forstwirtschaftlichen Firmen, Zunahme der Anzahl Gebäude und deren mittleren Wert.
gross	f liegt ausserhalb des Intervalls: 0.5 ≤ f ≤ 2	Die Risiken hängen stark von Extremereignissen ab, es ist nur eine annähernde Abschätzung von deren Wiederkehr möglich.	Änderungen in der Wiederkehr von Überschwemmungen in Folge des Klimawandels (Variationen im Niederschlagsregime). Auswirkungen der Klimaparameter auf den Tourismus	Produktionskosten für die Landwirtschaft, Holzpreis, Energiepreis etc.

Tabelle 3: Klassifikation der Unsicherheiten bezüglich der quantitativen Analyse der Risiken und Chancen (EBP/SLF/WSL, 2013b).

Diese basiert auf dem Grad der Unkenntnis von Prozessen, der Unsicherheit oder der Vollständigkeit der verfügbaren Daten, oder auf der Art dieser Daten (vgl. Tabelle 3). Die Kategorien von Unsicherheiten und die entsprechenden Unsicherheitsfaktoren stammen aus dem Methodenbericht. Sie werden zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse übernommen.

3.7. EXTREMEREIGNISSE

Die Schadenssummen von Extremereignissen weichen in der Regel stark von jenen der Erwartungswerte ab.

Auswirkungen des Klimawandels auf Extremereignisse weisen eine grosse Unsicherheit auf. Die ungewisse Entwicklung von kritischen meteorologischen Bedingungen (in Bezug auf Naturgefahren) ist diesbezüglich eine aktuelle Problematik (SciLogs, 2013). Kritische meteorologische Bedingungen können nämlich als Auslöser von Extremereignissen betrachtet werden (z.B. Starkniederschläge, Trockenperioden).

Um auch die Auswirkungen von Extremereignissen zu beurteilen, welche durch den Klimawandel verstärkt oder vermindert werden, werden in der vorliegenden Studie für jede relevante Kombination (Gefahr oder Effekt versus Auswirkungsbereich) die Auswirkungen eines

Ereignisses mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren (hundertjährliches Ereignis) abgeschätzt.

Die Definition der Wiederkehrperiode eines Extremereignisses stellt aufgrund fehlender Daten eine grosse Herausforderung dar. Die Datenreihen vergangener Schadenereignisse sind in der Regel viel kürzer als 100 Jahre und somit nicht repräsentativ für die Definition eines hundertjährlichen Ereignisses. Die Datenreihen sind ausserdem repräsentativ für vergangene Extremereignisse und nicht für die heutige Situation. Ein bestimmtes vergangenes Ereignis hätte heute nicht die gleichen Auswirkungen.

Teilweise sind keine Daten zu Schäden von Extremereignissen verfügbar. Die Arbeitsgruppe hat in diesen Fällen die Datenreihen historischer Ereignisse (mit begrenztem Beobachtungszeitraum) mittels der Gumbel-Verteilung analysiert. Diese erlaubt eine Analyse der Extremereignisse auch bei kurzen Beobachtungszeiträumen (Gumbel, 1935).

Um die Verteilung der Ereignisse in Bezug auf deren Wiederkehrperiode zu erhalten, ist es notwendig, die empirische Häufigkeit H jeder Beobachtung des jeweiligen Ereignisses zu berechnen:

$$H = \frac{Rang}{Anzahl\ Beobachtungen + 1} .$$

Der Rang der Beobachtung entspricht der Position, die letztere einnimmt, wenn alle Beobachtungen vom kleinsten zum grössten Wert sortiert sind (z.B. wenn die Beobachtung x den zweitgrössten Wert einer Serie von 10 Daten darstellt, ist dessen Rang 9.).

Auf der Basis der empirischen Häufigkeit kann für jede Beobachtung auch der Wert der reduzierten Gumbel-Variablen U berechnet werden:

$$U = - ln(- ln(H)) .$$

Der Wert der einzelnen Beobachtungen wird dann in Funktion der reduzierten Gumbel-Variablen aufgezeigt. In Abbildung 14 findet sich diesbezüglich ein Beispiel. Dort sind durch Sturm/Orkan verursachte Gebäudeschäden (in Mio. Fr.) in Funktion der entsprechenden reduzierten Gumbel-Variablen U grafisch dargestellt.

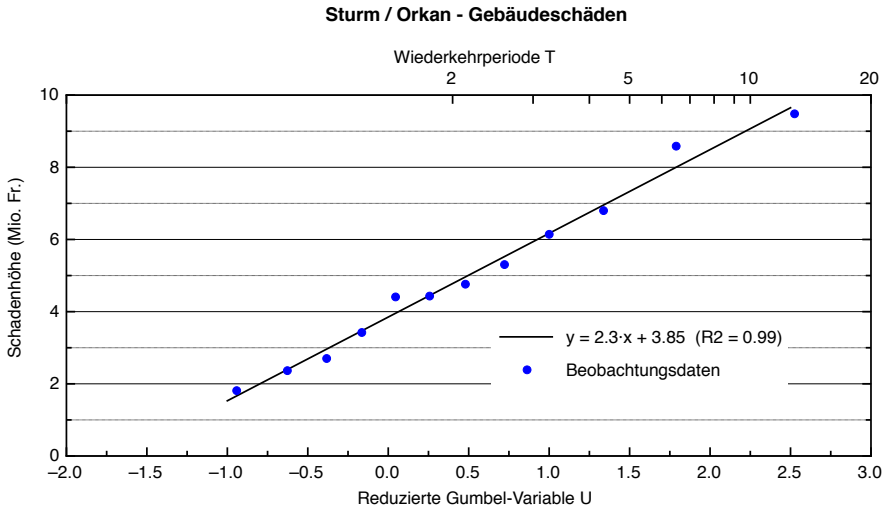


Abbildung 14: ***Anwendungsbeispiel der Gumbel-Verteilung zur Berechnung der Schäden eines Extremereignisses. In diesem Fall sind die durch Sturm/Orkan verursachten Gebäudeschäden in Funktion der entsprechenden reduzierten Gumbel-Variablen U aufgezeigt.***

Wie in Abbildung 14 ersichtlich ist, kann anhand der Beziehung zwischen der reduzierten Gumbel-Variablen U und der Schadenhöhe eine lineare Trendlinie definiert werden. Durch diese ist es möglich, den Wert der Schadenshöhe eines Extremereignisses (hundertjährlich) zu ermitteln. Die empirische Häufigkeit kann in Beziehung mit der Wiederkehrperiode (T) gemäss nachfolgender Gleichung beschrieben werden (für T = 100 Jahre):

$$H = \frac{T-1}{T} = \frac{100-1}{100} = 0.99 \qquad \text{und} \qquad U = -\ln(-\ln(0.99)) = 4.6$$

Wobei T wie folgt definiert ist:

$$T = \frac{\text{Anzahl Beobachtungen} + 1}{\text{Anzahl Beobachtungen} + 1 - \text{Rang}} .$$

Im Fall der Gebäudeschäden durch Sturm/Orkan lassen sich die Schäden infolge eines hundertjährlichen Ereignisses wie folgt berechnen:

$$\text{Schadenshöhe Extremereignis} = 2.32 \cdot 4.6 + 3.85 = 15 \text{ Mio. Fr.}$$

Zum Teil weisen Datenreihen vergangener Ereignisse an unterschiedlichen Jahren Werte mit Schadenshöhe gleich Null auf (z.B. Todesfälle infolge Mure/Erdrutsch/Hangmure). In diesen Fällen wurden für die Berechnung der Schadenshöhe nur die Daten analysiert, deren Schadenshöhe grösser als Null ist.

3.8. WILDCARDS

Die in dieser Studie quantitativ ausgewerteten Risiken und Chancen des Klimawandels können in Extremfällen deutlich grösser ausfallen, als erwartet. Die Wildcards repräsentieren mögliche hochbedeutende Risiken des Klimawandels unter besonders unwahrscheinlichen und sehr unsicheren Umständen. Die möglichen Auswirkungen in diesen Fällen können deutlich höher als die Erwartungswerte und die Extremereignisse von anderen Folgen des Klimawandels liegen. Die Analyse der Wildcards hat also das Ziel, eine plausible Bewertung der Auswirkung von unvorhersehbaren Ereignissen zu evaluieren.

3.9. SENSITIVITÄTSANALYSEN

Wie später in Kapitel 4.6 ausgeführt, ist die zukünftige Entwicklung der Gefahren und Effekte mit teilweise grossen Unsicherheiten verknüpft. In gewissen Fällen ist aufgrund diverser Faktoren, die bei der Beurteilung und Komplexität des jeweiligen Phänomens eine Rolle spielen, die Unsicherheit dermassen gross, dass zukünftige Vorhersagen nicht machbar sind. Um die Auswirkungen dieser Art von Gefahren oder Effekten auf die Risiken und Chancen des Klimawandels zu beurteilen, wird auf eine Sensitivitätsanalyse zurückgegriffen. Diese erlaubt es zu verifizieren, wie robust die Ergebnisse als Funktion von möglichen Änderungen der untersuchten Gefahr oder des Effektes sind.

Für die vorliegende Fallstudie ist die Sensitivitätsanalyse auf die Auswertung der Naturgefahren „Gewitter/Hagel“ und „Stürme/Orkane“ limitiert. Genauer gesagt werden die Gefahren oder Effekte mit einer Erhöhung resp. Verminderung um den Faktor 1.5 analysiert, bezogen auf die Häufigkeit dieser meteorologischen Ereignisse zum jetzigen Zeitpunkt. Dadurch sollen die Einflüsse der möglichen zukünftigen Entwicklungen dieser beiden Naturgefahren geprüft werden, dies in Bezug auf die Gesamtbilanz der Risiken und Chancen der betroffenen

Auswirkungsbereiche. In den beiden zukünftigen Klimaszenarien wird dabei von heutigen Häufigkeit der beiden Naturgefahren ausgegangen.

Über die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen der Gefahren „Gewitter/Hagel“ und „Stürme/Orkane“ wurde aufgrund der zu grossen Unsicherheit keine Sensitivitätsanlayse durchgeführt. In den entsprechenden Kapiteln wird jedoch ausführlich auf die betreffenden Auswirkungen sowie die Folgen von zukünftigen Änderungen dieser Gefahren eingegangen.

3.10. QUALITATIVE ANALYSE

Nicht alle Gefahren und Effekte des Klimawandels können quantifiziert werden.

Für diejenigen Aspekte, welche nicht quantitativ ausgewertet werden können, definiert die Studie fünf Vergleichsklassen (vgl. Tabelle 4). Gemeinsam mit den Experten der einzelnen Auswirkungsbereiche werden die qualitativ zu beurteilenden Gefahren und Effekte einer dieser Vergleichsklassen zugeordnet und mithilfe der Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit berechnet. Der Faktor zur Umrechnung wird mit den quantitativen Ergebnissen des entsprechenden Szenarios multipliziert.

Vergleichsklasse	Abschätzungsfaktor zur Vergleichbarkeit
Grösser	3
Vergleichbar	1
Geringer	1/3
Deutlich geringer	1/10
Nicht relevant	0

Tabelle 4: Vergleichsklassen und ihre jeweiligen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit, mit deren Hilfe die qualitative Analyse erfolgt.

Die quantitativ und qualitativ ausgewerteten Ergebnisse werden schliesslich in einer qualitativen Gesamtbeurteilung der Risiken und Chancen des Klimawandels zusammengeführt (vgl. Kapitel 1). Diese Gesamtbeurteilung basiert auf den folgenden qualitativen Klassen: sehr positiv, positiv, leicht positiv, gering, leicht negativ, negativ, sehr negativ.

4. SZENARIEN

4.1. KLIMASZENARIEN

Die Variationen und Änderungen des globalen Klimas der letzten Jahrzehnte sind gut dokumentiert. Dass die Ursachen des Klimawandels während den letzten Jahrzenten weitgehend anthropogen sind und insbesondere auf die Treibhausgas-Emissionen zurückzuführen sind, ist weitgehend akzeptiert (IPCC, 2013). Die momentane Konzentration des Kohlendioxid (CO_2), eines der wichtigsten Treibhausgase in der Atmosphäre (396 parts per million (ppm) im Jahr 2013) übertrifft den mittleren Wert der Schwankungen der letzten 650‘000 Jahre (150-300 ppm) deutlich. Dies konnte mittels eingeschlossener Luftblasen in Eisbohrkernen aus der Antarktis eruiert werden (IPCC, 2013). Diese Proben zeigten ausserdem eine Korrelation zwischen der CO_2-Konzentration in der Luft und der mittleren globalen Durchschnittstemperatur (Perroud & Bader, 2013). Für Projektionen der zukünftigen Klimaentwicklung braucht es somit Szenarien der möglichen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, insbesondere jener von CO_2.

4.1.1. Emissionsszenarien

Die in der vorliegenden Studie angewandten Klimaszenarien basieren auf zwei Emissionsszenarien von Treibhausgasen, dem Szenario A1B und dem Szenario RCP3PD (vgl. Abbildung 15) (CH2011, 2011).

Das Szenario A1B rechnet damit, dass global gesehen keine Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen ergriffen werden, geht jedoch davon aus, dass der Energieverbrauch infolge technologischen Fortschritts je zur Hälfte auf fossilen und erneuerbaren Energien basiert. Im Szenario RCP3PD – dieses Szenario ist das Optimistischere der beiden – wird die Treibhausgaskonzentration auf einem Niveau von 450 ppm CO_2 - Äquivalent stabilisiert. Auf diese Weise sollte die globale Erwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter 2 ºC nicht überschreiten. Dieses Ziel wurde im Rahmen der UNO-Klimakonferenz in Cancún/Mexiko im Jahr 2010 beschlossen.

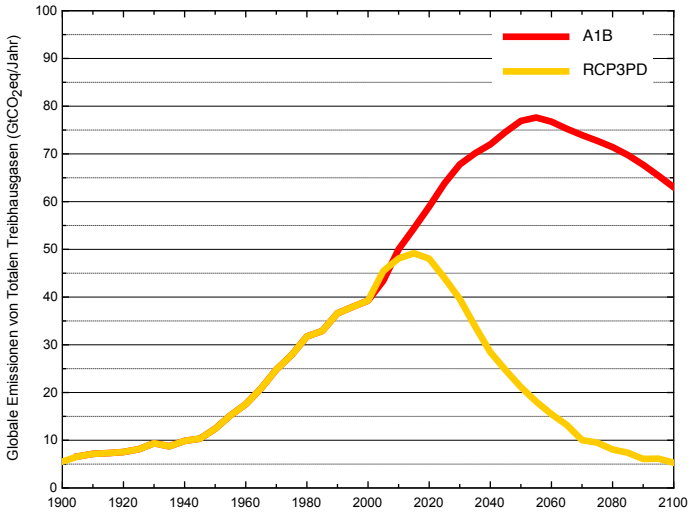


Abbildung 15: ***Die Treibhausgas-Emissionsszenarien RCP3PD (optimistisches Szenario) und A1B (pessimistischeres Szenario) bis ins Jahr 2100 (CH2011, 2011). In dieser Studie werden die Werte der Jahre 2010 und 2060 analysiert.***

4.1.2. Klimaszenarien

In der vorliegenden Studie werden die Risiken und Chancen des Klimawandels auf der Basis eines Referenzszenarios und zweier Klimaszenarien für das Jahr 2060 abgeschätzt.

Das Referenzszenario entspricht dem Klima des Jahres 2010, respektive dem Zeitraum 1980 bis 2009 (resp. 1981-2010). Die Szenarien 2060 entsprechen dem Zeitraum von 2045 bis 2074. Das Szenario „2060-schwach“ beruht auf dem optimistischen Emissionsszenario RCP3PD (CH2011, 2011) (vgl. Kapitel 4.1.1). Das pessimistischere Szenario „2060-stark“ basiert auf dem Emissionsszenario A1B (CH2011, 2011) (vgl. Kapitel 4.1.1). Aus diesen beiden Szenarien werden je nach Jahreszeit unterschiedliche Kennwerte zur Berechnung der Risiken und Chancen beigezogen. Wie in Abbildung 16 ersichtlich, entspricht die Zunahme der Temperatur im Szenario schwach dem Mittelwert (gelbe Rhomben), im Szenario stark dem grössten Wert (rote Rhomben) der abgebildeten Temperaturbereiche. Bezüglich der Niederschläge wählt das Szenario schwach wiederum die Mittelwerte, während das Szenario stark im Winter und Frühling die maximalen Werte und im Sommer und Herbst die minimalen Werte beizieht (vgl. Abbildung 17).

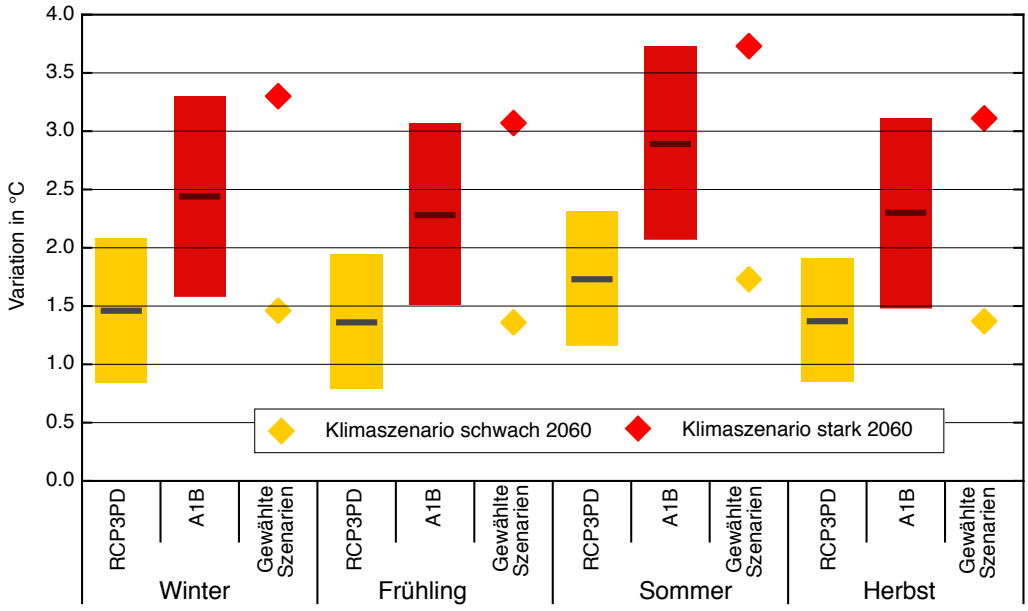


Abbildung 16: ***Veränderungen der Temperatur (in ºC gegenüber dem Referenzszenario) pro Jahreszeit in der Südschweiz. Die Temperaturwerte basieren auf den Emissionsszenarien RCP3PD 2060 (gelb) und A1B 2060 (rot) (CH2011, 2011). Die roten und gelben Punkte stellen das Szenario schwach resp. Szenario stark dar (EBP/SLF/WSL, 2013b).***

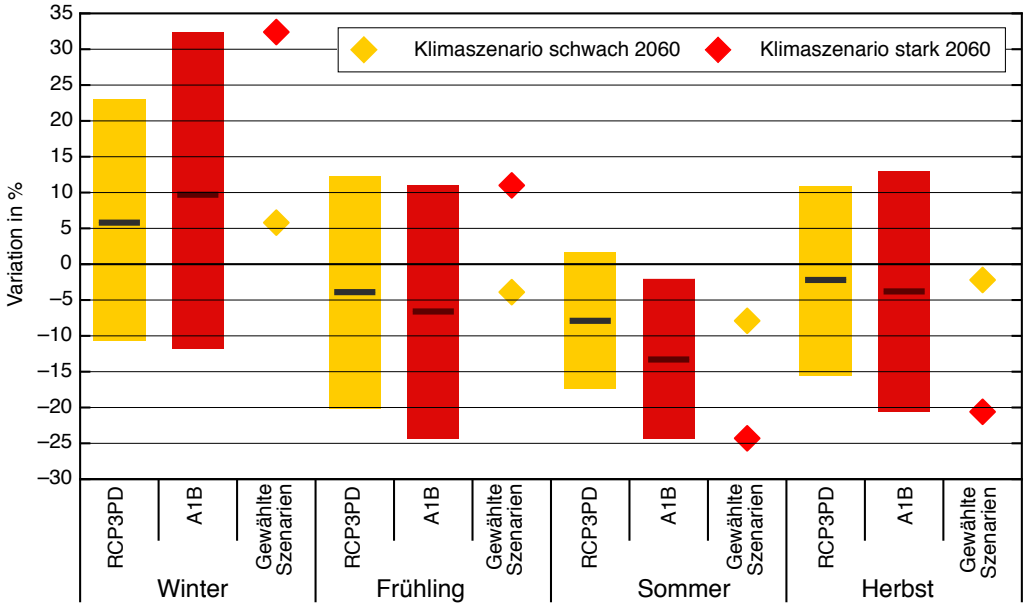


Abbildung 17: ***Veränderungen des Niederschlags (in % gegenüber des Referenzszenarios) pro Jahreszeit in der Südschweiz. Die Werte basieren auf den Emissionsszenarien RCP3PD 2060 (gelb) und A1B 2060 (rot (CH2011, 2011)). Die roten und gelben Punkte stellen das Szenario schwach resp. Szenario stark dar (EBP/SLF/WSL, 2013b).***

4.1.3. Unsicherheiten der Szenarien

Die klimatischen Entwicklungen, welche an verschiedene Emissionsszenarien gekoppelt sind (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17), weisen eine erhebliche Unsicherheit auf (vgl. Länge der Unsicherheitsbalken in den Abbildungen). Experten vermuten, dass falls das entsprechende Emissionsszenario eintrifft, sich die zukünftige Temperatur mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 % oder mehr innerhalb dieser Unsicherheitsbalken bewegt (CH2011, 2011). Die Unsicherheit bezüglich der Niederschläge ist hingegen grösser; so wird davon ausgegangen, dass die zukünftige Entwicklung der Niederschläge mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 50 % innerhalb der Unsicherheitsbalken liegt (CH2011, 2011).

Was die in dieser Studie verwendeten Klimaszenarien “Szenario schwach” und “Szenario stark” betrifft, existiert kein expliziter Unsicherheitsbereich. Die Wahl dieser Szenarien hat zum Ziel, auch die Extreme einer möglichen zukünftigen Klimaentwicklung darzustellen. In diesem Sinn kann die Gesamtheit der Werte zwischen dem Szenario „schwach“ und „stark“ wie ein realistisches Intervall interpretiert werden, in welchem eine mögliche zukünftige Entwicklung liegen wird. Die beiden Szenarien können folglich als Abschätzung einer unteren und oberen Grenze von möglichen zukünftigen Klimaänderungen betrachtet werden.

4.1.4. Meteorologische Extremereignisse

Im Hinblick der bestehenden Unsicherheit bezüglich den Vorhersagen der Klimaentwicklung ist auch bei der Interpretation der vorgesehenen Werte der Klimaindikatoren, welche mit meteorologischen Extremereignissen verknüpft sind, eine besondere Vorsicht geboten. Besonders unsicher sind diejenigen Indikatoren, welche an den Grenzen der Temperatur- und Niederschlagsverteilung liegen, wie z.B. Hitzetage oder Tropennächte, Eistage sowie Tage mit Starkniederschlägen (vgl. Kapitel 4.1.5). Ein Blick auf die Häufigkeitsverteilung solcher Indi-

katoren zeigt, dass eine Verschiebung der Amplitudenverteilung reicht, um die Werte der Indikatoren signifikant zu verändern (vgl. Abbildung 18).

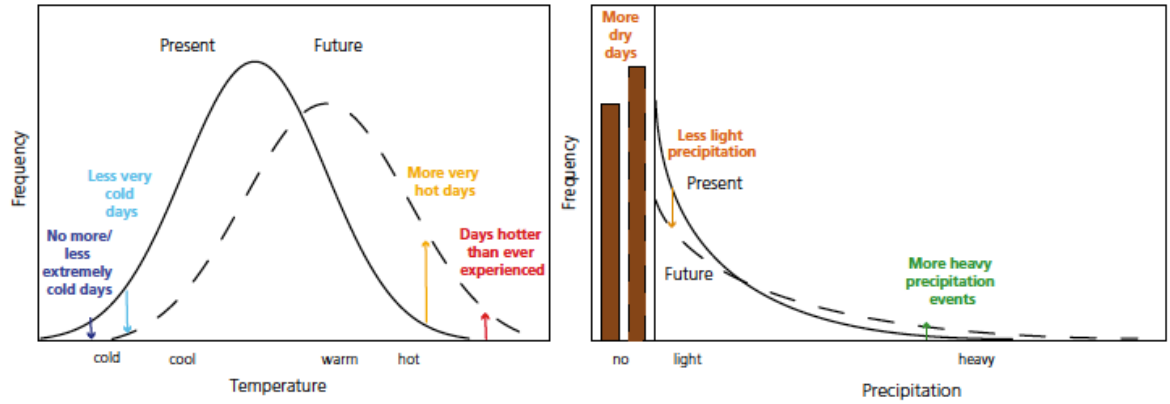


Abbildung 18: ***Schematische Darstellung der möglichen Effekte, welche zu Veränderungen der Häufigkeitsverteilung von Temperatur und Niederschlag führen. Die durchgezogene Linie zeigt die momentane Situation, die gestrichelte eine mögliche zukünftige Entwicklung. Änderungen in der Verteilung (Mittelwert, Variabilität und Form) können zu Variationen der Häufigkeit und Intensität von heissen, kalten, feuchten und trockenen Extremen führen. Quelle: CH2011 (2011).***

Wichtig zu erwähnen ist die Tatsache, dass die lokalen Daten in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der verschiedenen Klimaindikatoren, welche in dieser Studie verwendet werden, von einem Modell mit einer räumlichen Auflösung von 2x2 km stammen. Die Rechnungsmethode und die Unsicherheiten, welche mit dem „downscaling“ der lokalen klimatischen Projektion auf ein Gitter von 2x2 km verbunden sind, sind in Zubler et al. (2014) beschrieben.

4.1.5. Klimaindikatoren

Um die Klimaentwicklung im Kanton Tessin zu charakterisieren, werden nebst den mittleren Temperatur- und Niederschlagswerten, diverse Klimaindikatoren aus klassischen meteorologischen Grössen gebraucht. Diese Parameter erlauben es, verschiedene Phänomene des Klimawandels darzustellen. Je nach den klimatischen Eigenheiten des zu analysierenden Gebiets, werden unterschiedliche Parameter gewählt, welche sich zum Beschrieb des lokalen Klimas eignen. Für die Berggebiete beispielsweise ist die Anzahl Hitzetage wenig repräsentativ, während Eis- oder Frosttage geeigneter sind, um das dortige Klima zu beschreiben. Die Beschreibung der Indikatoren, welche im Bericht verwendet werden, sind in nachfolgender Tabelle (Tabelle 5) aufgezeigt.

Indikator	Beschreibung
Sommertage	Tage mit Maximaltemperatur ≥ 25°C.
Hitzetage	Tage mit Maximaltemperatur ≥ 30°C.
Tropennächte	Nächte mit Minimaltemperatur ≥ 20°C.
Sehr heisse Tage	Tage mit Maximaltemperatur ≥ 35°C Minimaltemperatur ≥ 20°C.
Frosttage	Tage mit Minimaltemperatur < 0°C.
Frostwechseltage	Tage mit Maximaltemperatur > 0°C und Minimaltemperatur < 0°C.
Eistage	Tage mit Maximaltemperatur < 0°C.
Tautage	Tage mit Minimaltemperatur ≥ 0°C.
Kühltage	Tage mit Mitteltemperatur ≥ 18.3°C.
Heiztage	Tage mit Mitteltemperatur < 12°C.
Kühlgradtage	Summe der Tagesdifferenzen zwischen der Mitteltemperatur der Kühltage und 18.3°C
Heizgradtage	Summe der Tagesdifferenzen zwischen der Mitteltemperatur der Heiztage und 20°C.
Neuschneetage	Tage mit Niederschlägen > 1 mm Wasser und Mitteltemperatur < 2°C.
Nassschneetage	Tage mit Niederschlägen > 1 mm und Mitteltemperatur zwischen -2°C und 2°C.
Tage mit Schneebedeckung	Tage mit geschlossenen Schneebedeckung ≥ 1 cm.
Dauer der Vegetationsperiode	Zeit in Tagen vom ersten Auftreten einer 6-Tages-Periode mit Mitteltemperatur > 5°C bis zum ersten Auftreten einer 6-Tages-Periode mit Mitteltemperatur < 5°C, wobei letztere nach dem 1. Juli auftreten muss. Findet die erste 6-Tagesperiode nach dem 1. Juli statt oder gibt es keine zweite Periode nach dem 1. Juli gilt die Vegetationsperiode als „nicht definiert“.
Huglin-Index	Die Berechnung des Huglin-Index ist durch folgende Formel gegeben: $$\sum 1.045 \cdot \left(\frac{T_{max}+T_{med} \geq 20}{2}\right).$$ Der Faktor 1.045 entspricht einer Korrektur für die geografische Breite. Die Summe wird auf alle Tage mit $T_{max}+T_{med} \geq 20°C$ der Periode vom 1. April bis 30. September eines Jahres angewendet.

Tabelle 5: Verzeichnis der in dieser Studie verwendeten Klimaindikatoren (MeteoSchweiz, 2014a).

Die Daten zu den Klimaindikatoren, welche in dieser Studie verwendet werden, stammen von einem Modell mit einer räumlichen Auflösung von 2x2 km. Dieses wurde von Zubler et al. (2014) entwickelt (Zubler, Fischer, Liniger, Croci-Maspoli, Scherrer, & Appenzeller, 2014).

4.2. KLIMAENTWICKLUNG IM TESSIN

Bevor auf die zukünftige Klimaentwicklung eingegangen wird, werden im nachfolgenden Kapitel der bisherige Verlauf des Klimas über die vergangenen Jahrzehnte sowie das heutige Klima beschrieben.

4.2.1. Beobachtete klimatische Entwicklung

Der Kanton Tessin ist durch eine äusserst heterogene Landschaft gekennzeichnet: Von über 3’000 m ü. M. im Gebirge im Norden des Kantons gelangt man zu den ebenen und hügeligen Gebieten im Süden, auf Höhen von weniger als 300 m ü. M. Das Klima zeigt sich demzufolge als äusserst variabel. Die Hochtäler und alpinen Zonen sind durch ein permanent winterliches Klima mit Schneefällen und zahlreichen Frosttagen gekennzeichnet, während in den Ebenen ein milderes Klima mit hohen Temperaturen und sehr heissen Tagen während der Sommermonate herrscht. Die vorhandenen Bergketten der Alpen beeinflussen zudem die massgeblichen atmosphärischen Strömungen und in hohem Masse die meteorologischen Phänomene im Gebiet. Auch die nahegelegene Po-Ebene übt einen grossen Einfluss aufs südliche Kantonsgebiet aus, u.a. durch Nebel, Dunst sowie verschmutzte Substanzen (MeteoSchweiz, 2012).

Um das heterogene Klima des Tessins besser zu charakterisieren, werden Daten von drei sehr unterschiedlichen Messstationen analysiert: Lugano (273 m ü. M.) steht für das Klima der Hügellandschaft und Ebenen im Süden des Kantons, während San Bernardino (1'639 m ü. M.) und der Grosse Sankt Bernhard (2'472 m ü. M.) die alpinen Gebiete repräsentieren.

Entwicklung des Klimas (1864-2014) in den Hügellandschaften und Ebenen

Die in Lugano erhobenen Klimadaten der Periode 1864-2014 zeigen ab 1980 eine deutliche Temperaturzunahme in allen Jahreszeiten (vgl. Abbildung 19). Der Anstieg ist insbesondere im Frühling und Sommer ausgeprägt, während im Winter und Herbst die Änderung weniger markant ausfällt. Die jährliche mittlere Temperatur in Lugano nimmt im Mittel um 0.39°C pro Jahrzehnt im Zeitraum 1961-2014 zu. Die heissesten zehn Jahre (höchste mittlere Jahrestemperatur) seit 1864 traten alle in den letzten 20 Jahren auf.

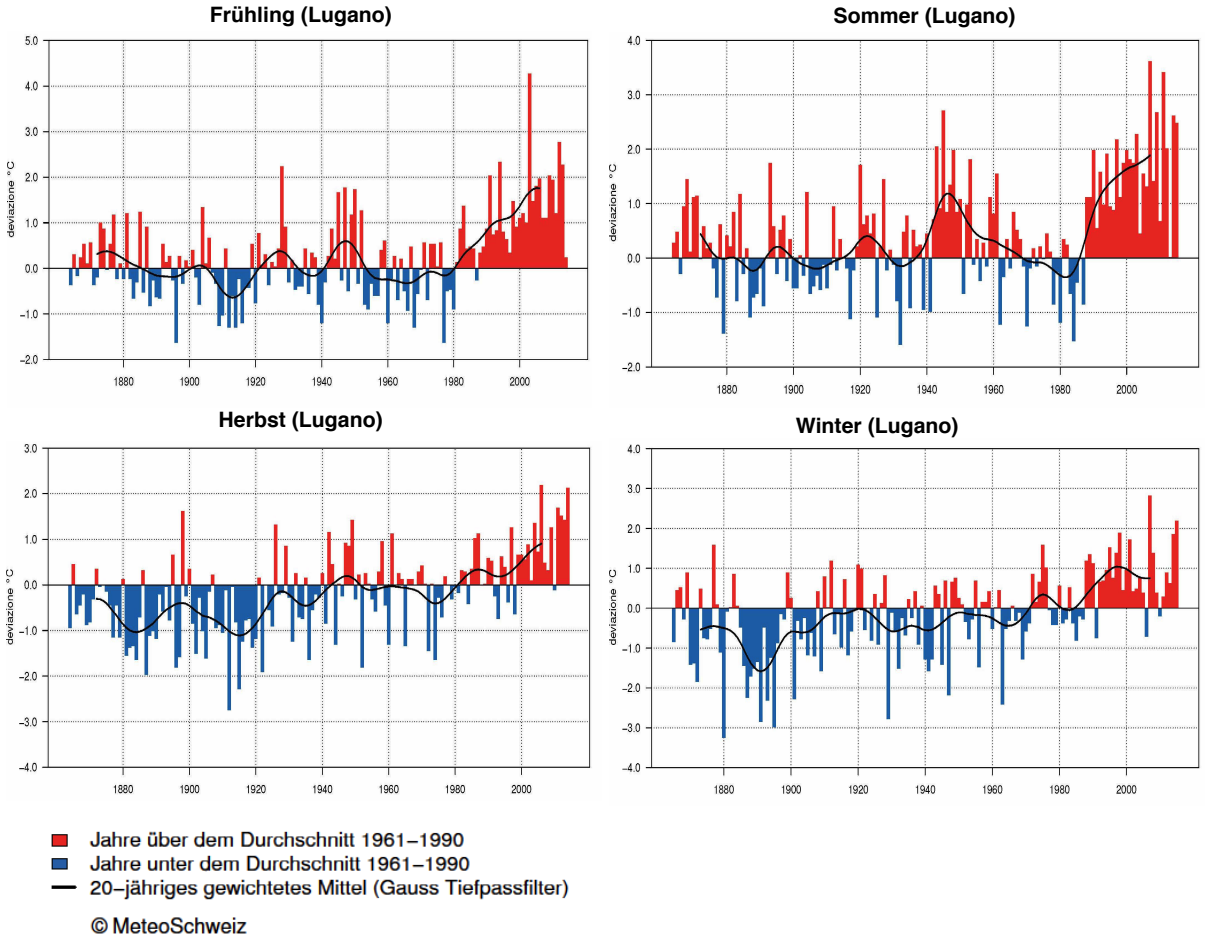


Abbildung 19: ***Entwicklung der Jahresmitteltemperatur[2] in Lugano über den Zeitraum 1864-2014. Dargestellt ist die Abweichung vom Mittelwert über die Jahre 1961-1990 (MeteoSchweiz 2014).***

Ein besonders repräsentativer Parameter für die Klimaentwicklung der Hügellandschaften und Ebenen ist die jährliche Anzahl Sommertage (vgl. Abbildung 20). Die Daten zeigen eine deutliche Zunahme dieses Klimaindikators: von rund 40 Sommertagen pro Jahr um 1970 zu 70 Sommertagen, welche das letzte Jahrzehnt charakterisieren. Der Extremwert dieser Messreihe zeigt sich mit 112 Sommertagen im Jahr 2003, welches durch besonders intensive Hitzewellen charakterisiert war.

2 Die verschiedenen Jahreszeiten sind wie folgt definiert: Winter: Dezember-Januar-Februar, Frühling: März-April-Mai, Sommer: Juni-Juli-August, Herbst: September-Oktober-November.

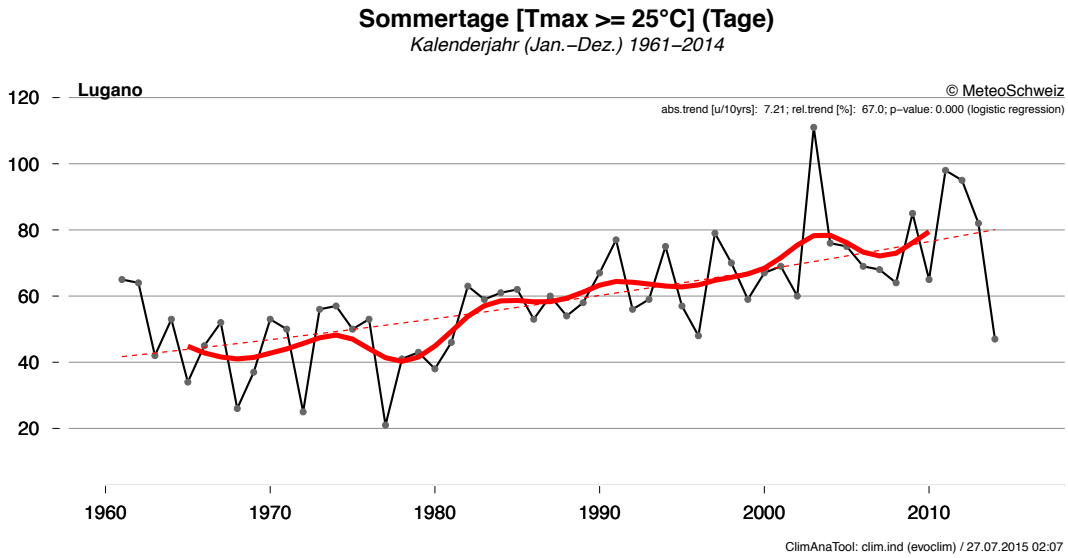


Abbildung 20: Entwicklung der Anzahl Sommertage pro Jahr in Lugano während des Zeitraums 1961-2014 (MeteoSchweiz 2014).

Im Unterschied zur Temperatur zeigen die in Lugano gemessenen Jahresniederschläge keinen signifikanten Trend in der Periode 1867-2014 (Abbildung 21). Diese meteorologische Grösse weist eine grosse Jahr-zu-Jahr Variabilität aus.

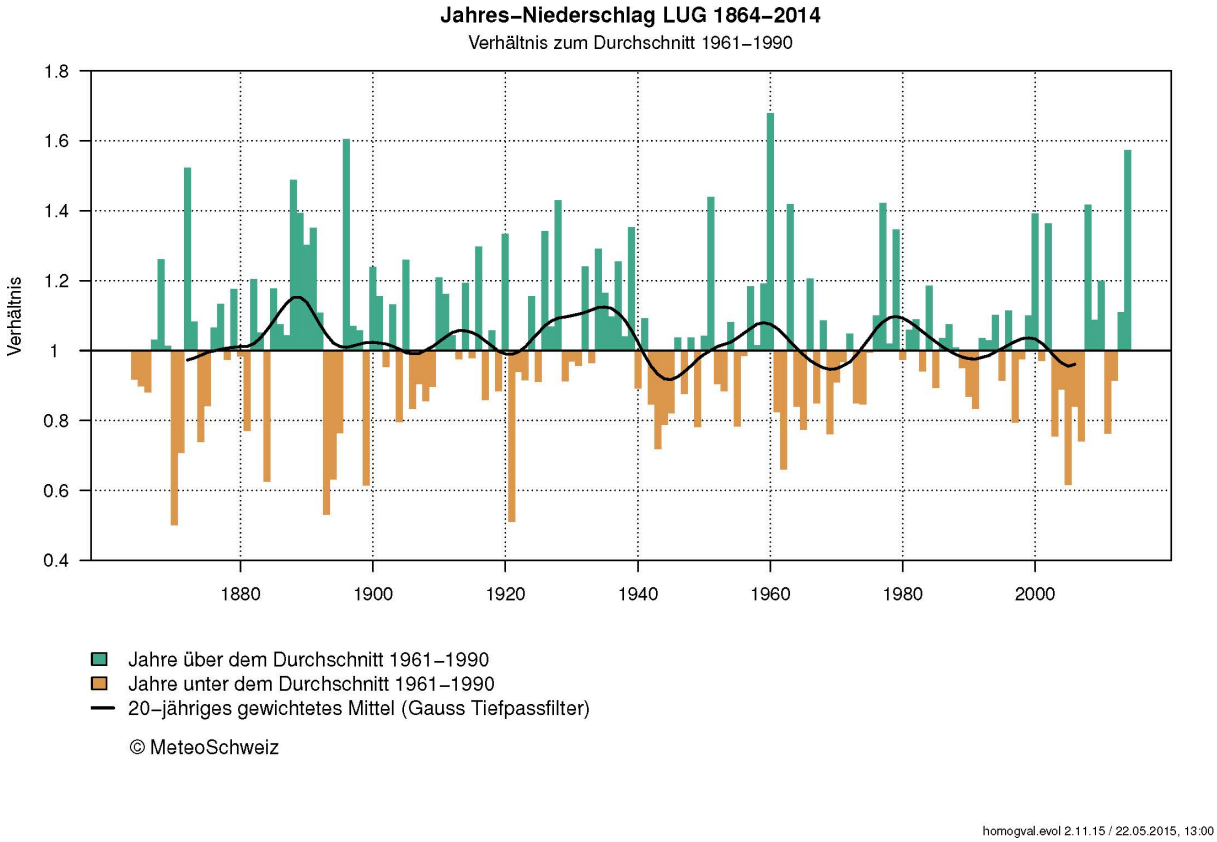


Abbildung 21: Entwicklung der in Lugano gemessenen Jahresniederschläge im Zeitraum 1864-2014 (Abweichung vom Mittelwert 1961-1990 (MeteoSchweiz 2014).

Entwicklung des Klimas (1864-2014) in den alpinen Gebirgsregionen

Messwerte zur Entwicklung des Klimas in Gebirgsregionen des Tessin reichen leider nicht bis ins Jahr 1864 zurück, da alle Messstationen in diesem Gebiet erst viel später installiert wurden. Die Messstation des im Kanton Wallis gelegenen Grossen Sankt Bernhard (2'472 m ü. M.) verfügt im Gegensatz zum Tessin über den gesamten Zeitraum Daten. Obwohl die Station relativ weit vom Tessin entfernt liegt, kann sie als Referenz für die vergangene Temperaturentwicklung verwendet werden.

In Abbildung 22 ist der Verlauf der Jahresmitteltemperatur, gemessen am Grossen Sankt Bernhard, für die Periode 1864 bis 2014 dargestellt. Analog zur Entwicklung der Messwerte von Lugano ist auch hier eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur ab ca. 1980 ersichtlich. Diese Zunahme ist insbesondere im Frühling und Sommer markant, während sie im Herbst und Winter fast nicht erkennbar ist. Wie in Lugano zeigt die Entwicklung der jahreszeitlichen Niederschläge keine besonderen Trends im Zeitraum 1864-2014.

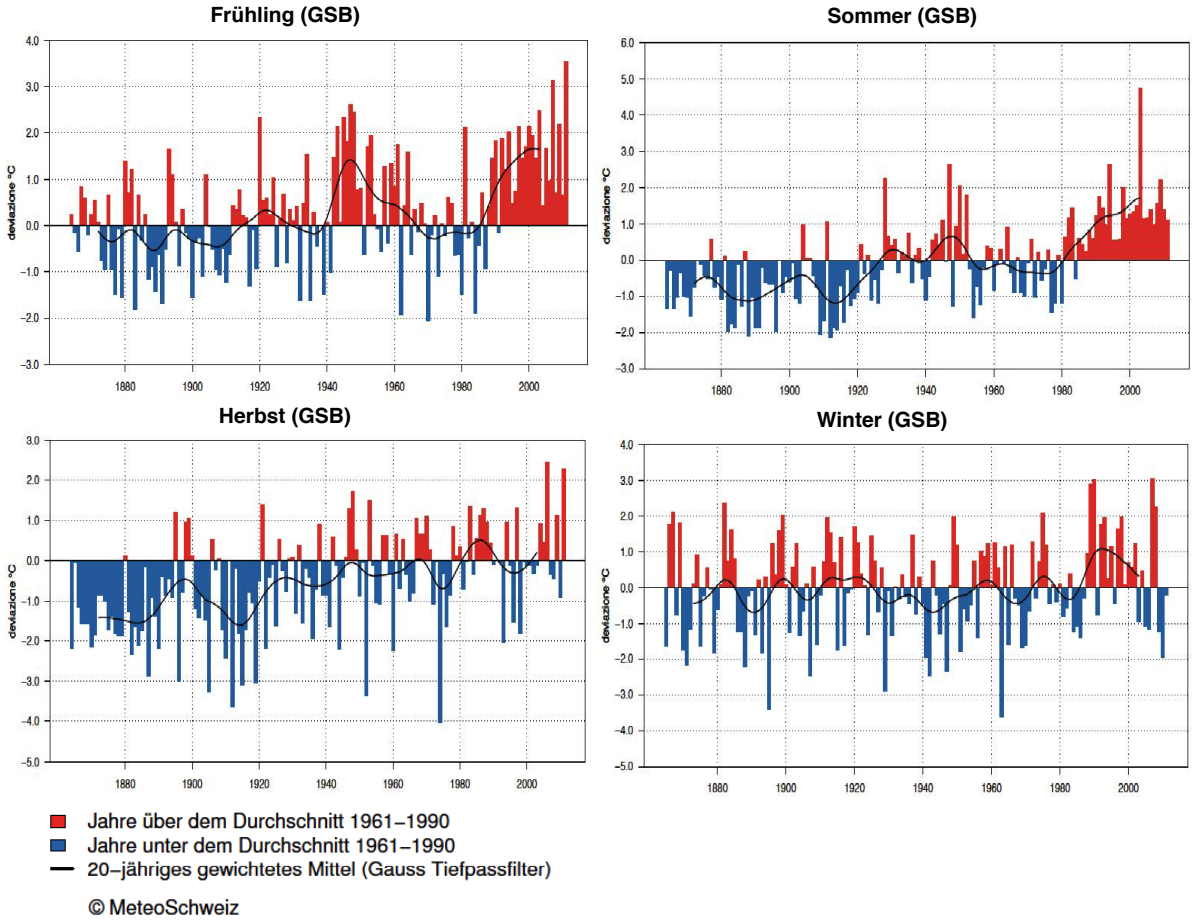


Abbildung 22: ***Entwicklung der Jahresmitteltemperatur beim Grossen Sankt Bernhard über den Zeitraum von 1864-2014. (Abweichung vom Mittelwert 1961-1990) (MeteoSchweiz 2014).***

Charakteristisch für den Klimawandel in alpinen Regionen sind die Anzahl Frosttage sowie Tage mit Schneebedeckung. Nachfolgend ist die Entwicklung dieser Klimaindikatoren bei

der Messstation San Bernardino (1'639 m ü. M.) für den Zeitraum 1968 bis 2014 grafisch dargestellt [3].

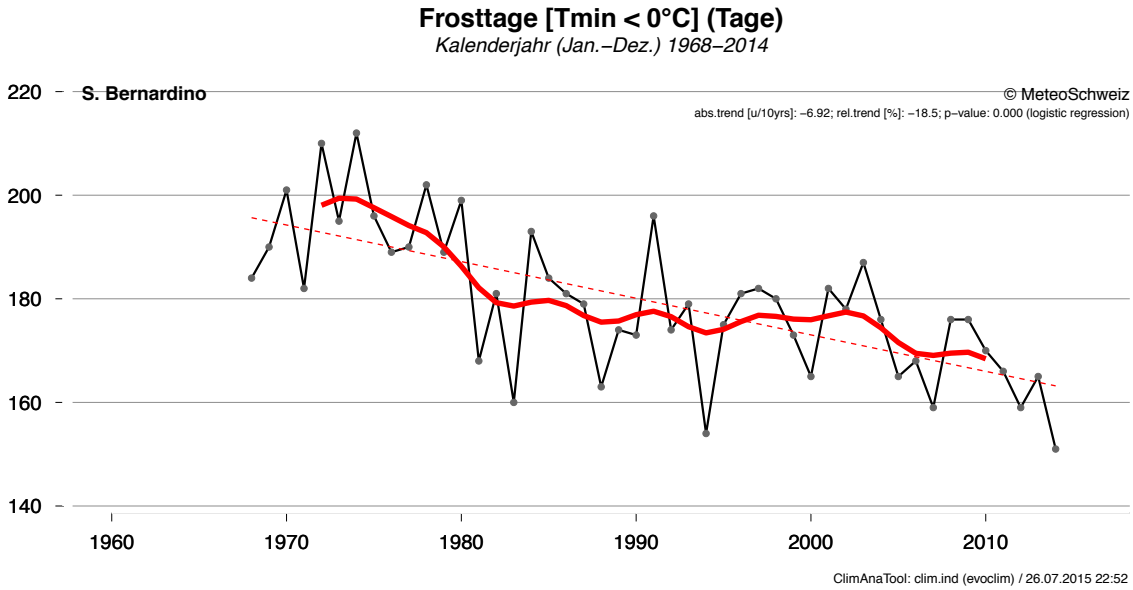


Abbildung 23: ***Die Entwicklung der Anzahl Frosttage, gemessen in San Bernardino während des Zeitraums 1968-2014 (MeteoSchweiz 2014).***

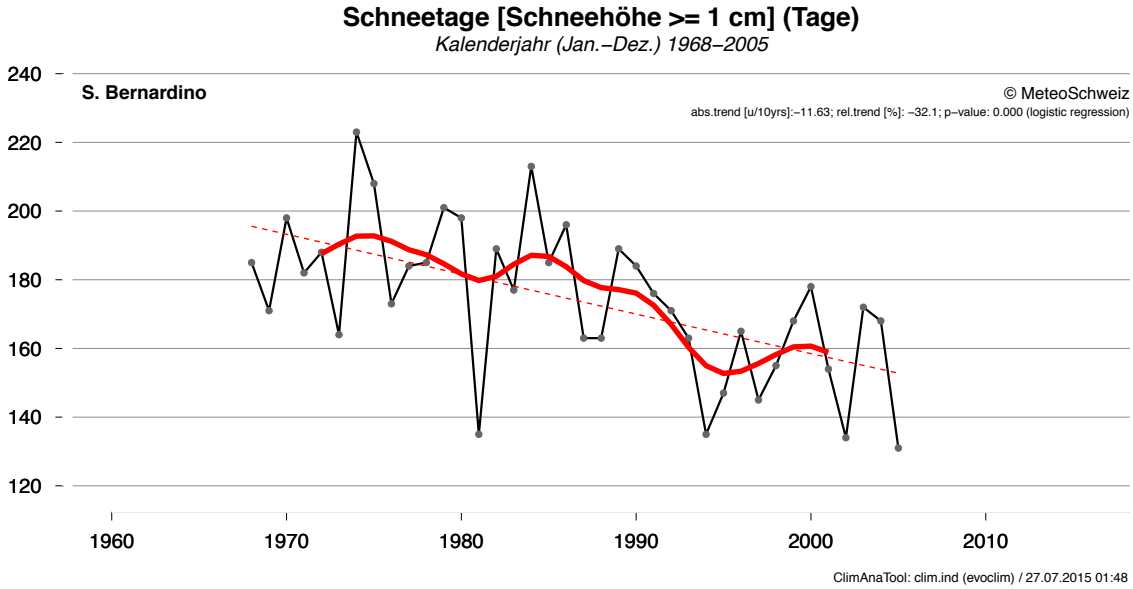


Abbildung 24: ***Die Entwicklung der Anzahl Tage mit Schneebedeckung, gemessen in San Bernardino während des Zeitraums 1968-2005 (MeteoSchweiz 2014).***

Die Entwicklung der Anzahl Frosttage pro Jahr zeigt eine klare Abnahmetendenz (Abbildung 23). Waren es 1970 noch rund 190 Frosttage pro Jahr, so sind es in den letzten Jahren nur noch deren 160 bis 170.

[3] Die Messstation des San Bernardino ist seit 1968 in Betrieb.

Auch die Anzahl Tage mit Schneebedeckung zeigen eine Abnahme (Abbildung 24). Von 190 Tagen mit Schnee im Jahr 1970 sank die Anzahl Tage mit Schneebedeckung auf 150 bis 160 Tage in den ersten Jahren im neuen Jahrtausend.

4.2.2. Heutiges Klima

Die Region Südschweiz weist aufgrund der milden Luftmassenzuflüsse des Mittelmeers generell eine höhere Temperatur auf als der Rest der Schweiz. Die Anzahl Sommertage pro Jahr ist insbesondere in den tiefen Lagen relativ hoch, während die Frosttage, insbesondere in der Nähe der grossen Seen eher selten auftreten. Was die Niederschläge betrifft, weist das Tessin eine der höchsten Jahresniederschlagssummen der Schweiz auf. Die Anzahl Tage mit Niederschlag ist zwar relativ gering, dafür sind die Niederschläge oft sehr intensiv (MeteoSchweiz 2014).

Um das heutige Tessiner-Klima quantitativ darzustellen, werden Klimaindikatoren von den Messstationen Lugano (Hügellandschaft und Ebenen) und San Bernardino (alpine Gebirgsregionen) verwendet. Die Werte der Klimaparameter, welche das heutige Klima beschreiben, sind mehrjährige Mittelwerte der Messdaten des Zeitraums 1981-2010.

Heutiges Klima in Lugano 1981-2010

Die Werte der Messperiode 1981-2010 weisen eine mittlere Temperatur von 12.4°C. Innerhalb eines Jahres treten rund 28 Frosttage und 66 Sommertage auf. Die mittleren Jahresniederschlagssummen betragen fast 1'600 mm und ein Teil davon fällt im Mittel während 4 Tagen pro Jahr in Form von Schnee. In Tabelle 6 finden sich die wichtigsten Klimanormwerte der Station Lugano.

Parameter	Normwerte der Messperiode 1981-2010
Durchschnittstemperatur (°C)	12.4
Eistage	0.7
Frosttage	27.6
Sommertage	65.7
Hitzetage	8.1
Niederschlag (mm)	1’559
Niederschlagstage	98.1
Neuschnee (cm)	26.1
Neuschneetage	3.7
Tage mit Schneebedeckung	11.9

Tabelle 6: Klimanormwerte der Messstation von Lugano, Durchschnittwerte der Messperiode 1981-2010 (MeteoSchweiz, 2014b).

Heutiges Klima San Bernardino 1981-2010

Die mittlere Temperatur der Messstation San Bernardino im Zeitraum 1981-2010 liegt bei 4°C. Pro Jahr treten im Durchschnitt 175 Frosttage auf, von denen 54 als Eistage klassifiziert sind (Tabelle 7). Der Mittelwert der jährlichen Niederschlagssumme ist mit etwas mehr als 1'600 mm vergleichbar mit jenem von Lugano. Im Mittel liegt in San Bernardino an 166 Tagen pro Jahr eine geschlossene Schneedecke auf dem Boden. Die Klimanormwerte San Bernardinos sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Klimatische Messwerte San Bernardino	Jährlicher Durchschnittswert der Messperiode 1981-2010
Durchschnittstemperatur (°C)	3.9
Eistage	54
Frosttage	175.1
Sommertage	0.8
Hitzetage	0.0
Niederschlag (mm)	1622
Niederschlagstage	120.4
Neuschnee (cm)	521.7*
Neuschneetage	51*
Tage mit Schneebedeckung	166*

Tabelle 7: ***Klimanormwerte der Messstation von San Bernardino, Durchschnittwerte der Messperiode 1981-2010. Die mit * bezeichneten Werte basieren auf der Messperiode 1981-2005 (MeteoSchweiz, 2014b).***

In Abbildung 25 und Abbildung 26 sind die Mitteltemperatur und die Niederschlagssummen pro Jahreszeit grafisch für die Periode 1980 bis 2010 dargestellt. Diese zeigen, dass im Tessin ein grosser Teil des jährlichen Niederschlags zwischen Frühling und Herbst fällt, während im Winter eher trockene Verhältnisse vorherrschen.

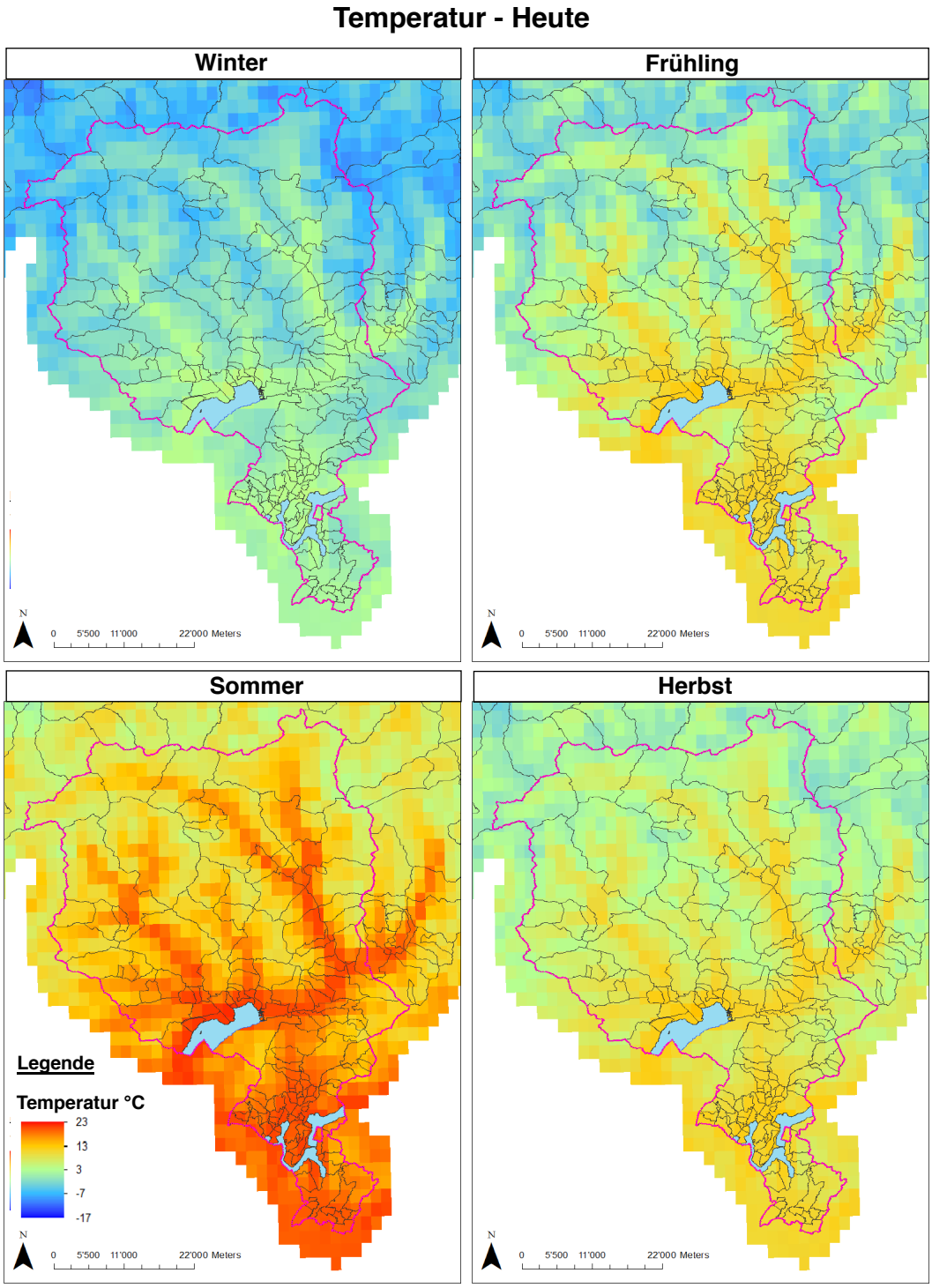


Abbildung 25: ***Mittlere Temperaturverteilung nach Jahreszeiten im Tessin für den Zeitraum 1980-2009. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

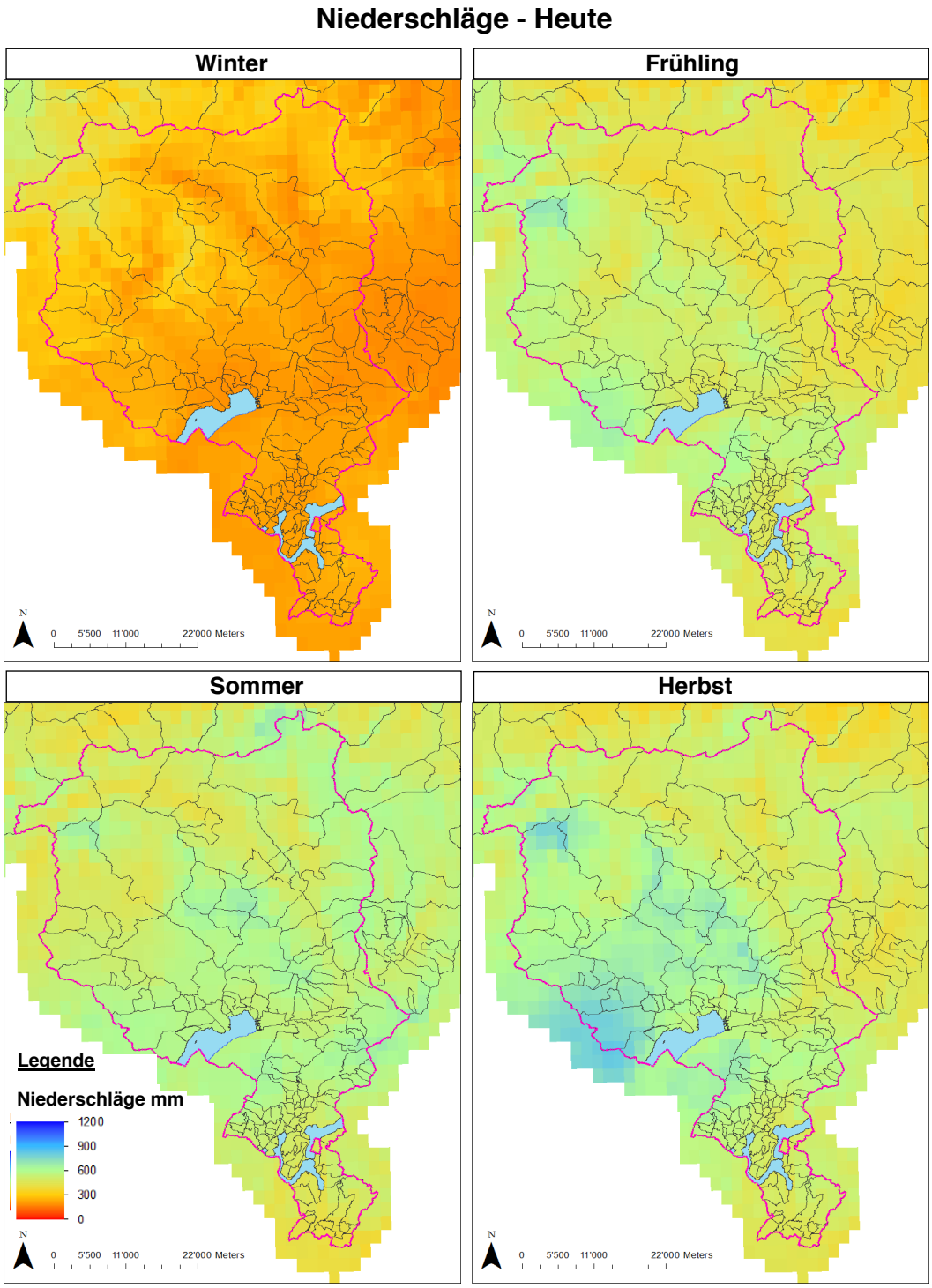


Abbildung 26: Mittlere Niederschlagsverteilung nach Jahreszeiten im Tessin für den Zeitraum 1980-2009. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).

4.3. TEMPERATUREN UND NIEDERSCHLÄGE 2060

In den folgenden Unterkapiteln werden zunächst die, für die beiden Szenarien „schwach“ und „stark“ modellierten, Temperatur- und Niederschlagswerte für den Zeitraum um 2060 aufgeführt (vgl. Kap. 4.3.1 & 4.3.2).

Die entsprechenden Werte werden grafisch dargestellt und für eine repräsentative Auswahl an Standorten zudem quantifiziert. Dies erlaubt eine qualitative Darstellung der vorhergesehenen Änderungen auf dem gesamten Kantonsgebiet. Die Berechnungsmethode und Unsicherheiten, welche mit dem Downscaling der Klimaprojektionen (CH2011, 2011) verbunden sind, sind in Zubler et al. (2014) beschrieben.

Die Quantifizierung erfolgt auf der Grundlage der Messwerte der Stationen: San Bernardino (1'639 m ü. M., alpine Gebiete), Biasca (291 m ü. M.; Talsohlen des Sopraceneri) und Lugano (273 m ü. M.; für die Ebenen in Seenähe des Sottoceneri)[4].

4.3.1. Temperatur 2060

Die Projektionen der Temperaturänderungen gemäss den zwei gewählten Klimaszenarien sind relativ zuverlässig (MeteoSchweiz, 2014). In San Bernardino ist unter dem Szenario schwach eine Erhöhung der mittleren jährlichen Temperatur bis zum Zeithorizont 2060 von ca. 1.5°C zu erwarten. Das Szenario stark sieht einen Anstieg von ca. 3.4°C vor. Die Vorhersagen für Biasca und Lugano zeigen hingegen mit 1.4°C resp. 3.2°C Erwärmung unter dem Szenario schwach resp. stark eine leicht gemässigtere Entwicklung (vgl. Abbildung 27).

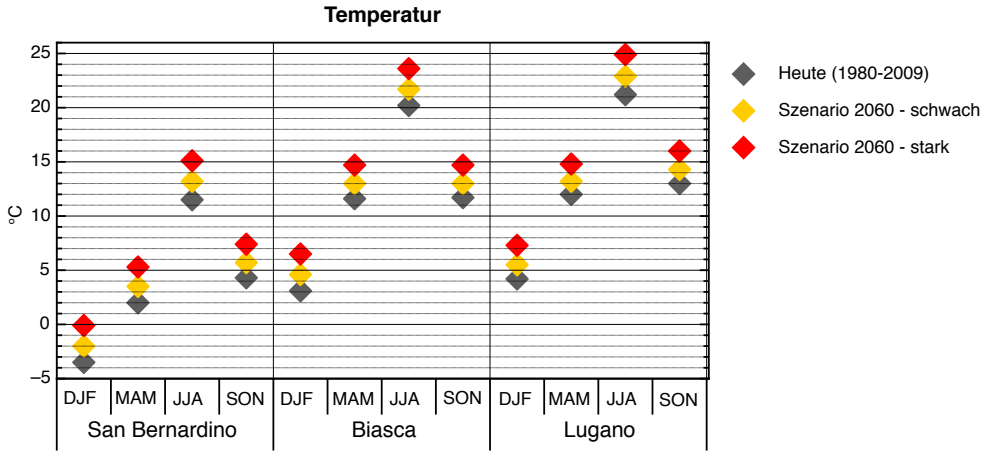


Abbildung 27: ***Saisonales Temperaturmittel unter dem Referenzszenario, die Szenarien 2060-schwach und 2060-stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b). DJF bezeichnet die Wintermonate (Dezember, Januar und Februar), MAM die Frühlingmonate (März, April und Mai), JJA die Sommermonate (Juni, Juli und August) und SON die Herbstmonate (September, Oktober und November).***

In Abbildung 28 und Abbildung 29 ist die horizontale Verteilung der mittleren Temperaturabweichung für die Szenarien 2060 dargestellt. Beide Szenarien sehen eine Temperaturerhöhung voraus, insbesondere in den Sommermonaten und in den Gebirgsregionen. In der Region Gotthard beispielsweise kommt es gemäss dem Szenario schwach zu einer Temperaturerhöhung von mehr als 2°C, während gemäss dem Szenario stark gar eine Erwärmung

[4] Die Werte für die drei Messstationen stammen direkt aus der Karte des dazugehörigen Szenarios und repräsentieren den mittleren Wert der dazugehörigen Fläche von 2 x 2 km. Aufgrund der Komplexität des Gebietes kann dieser Wert deutlich vom dem an einem spezifischen Punkt des Feldes abweichen. So sind etwa in Bezug auf das Referenzszenario die Werte für Lugano und San Bernardino leicht verschieden im Vergleich zu den an den jeweiligen Messstationen gemessenen Werten (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7).

von 4.5°C eintritt. In den Talböden des Sopraceneri und in den Ebenen in Seenähe des Sottoceneri fällt die für die Sommermonate vorhergesehene mittlere Temperaturabweichung entsprechend einem Nord-Süd-Gradienten geringer aus.

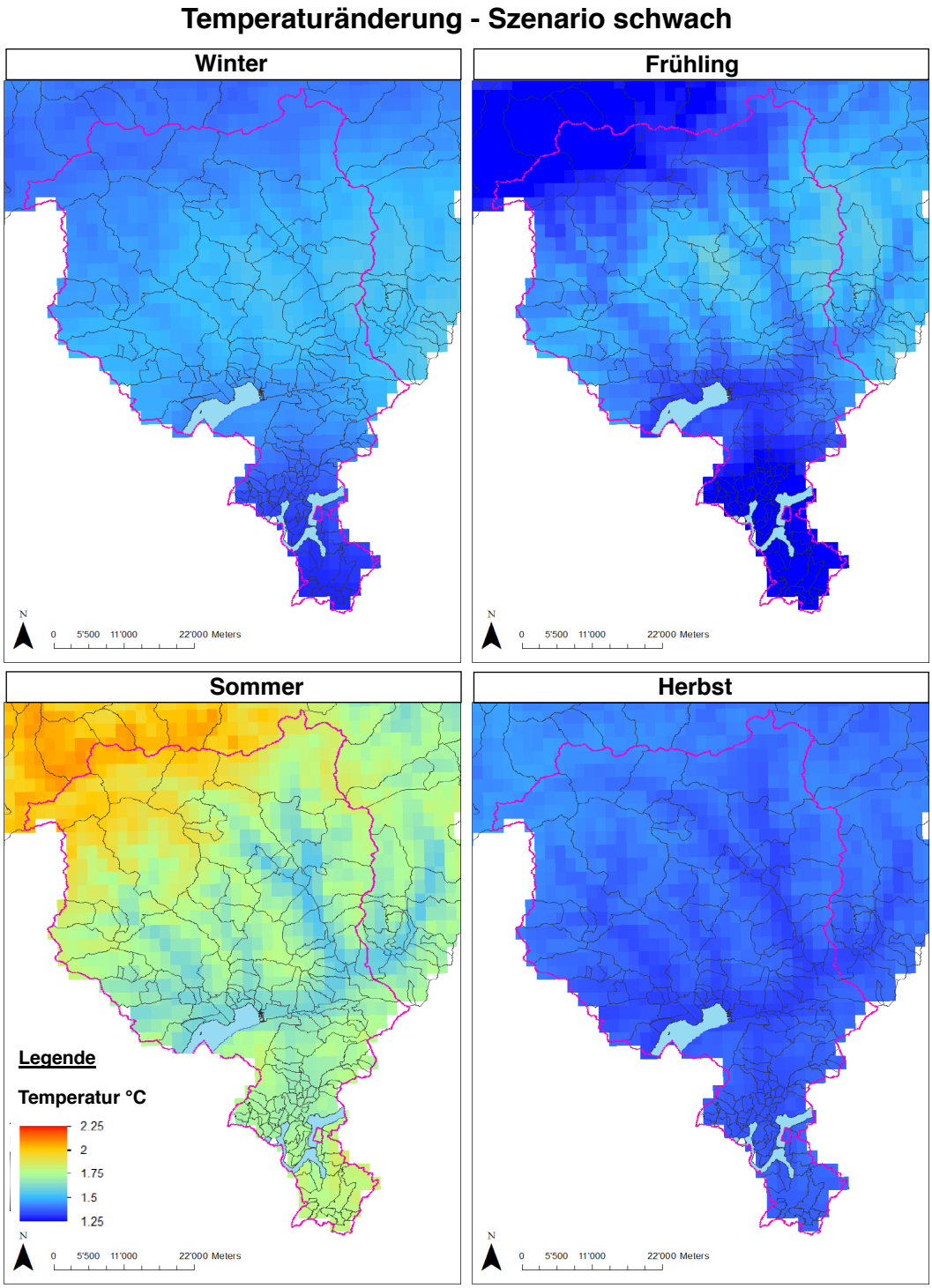


Abbildung 28: ***Abweichung der saisonalen Mitteltemperaturen im Jahr 2060 gegenüber der Referenzperiode 1980-2009, Szenario schwach. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

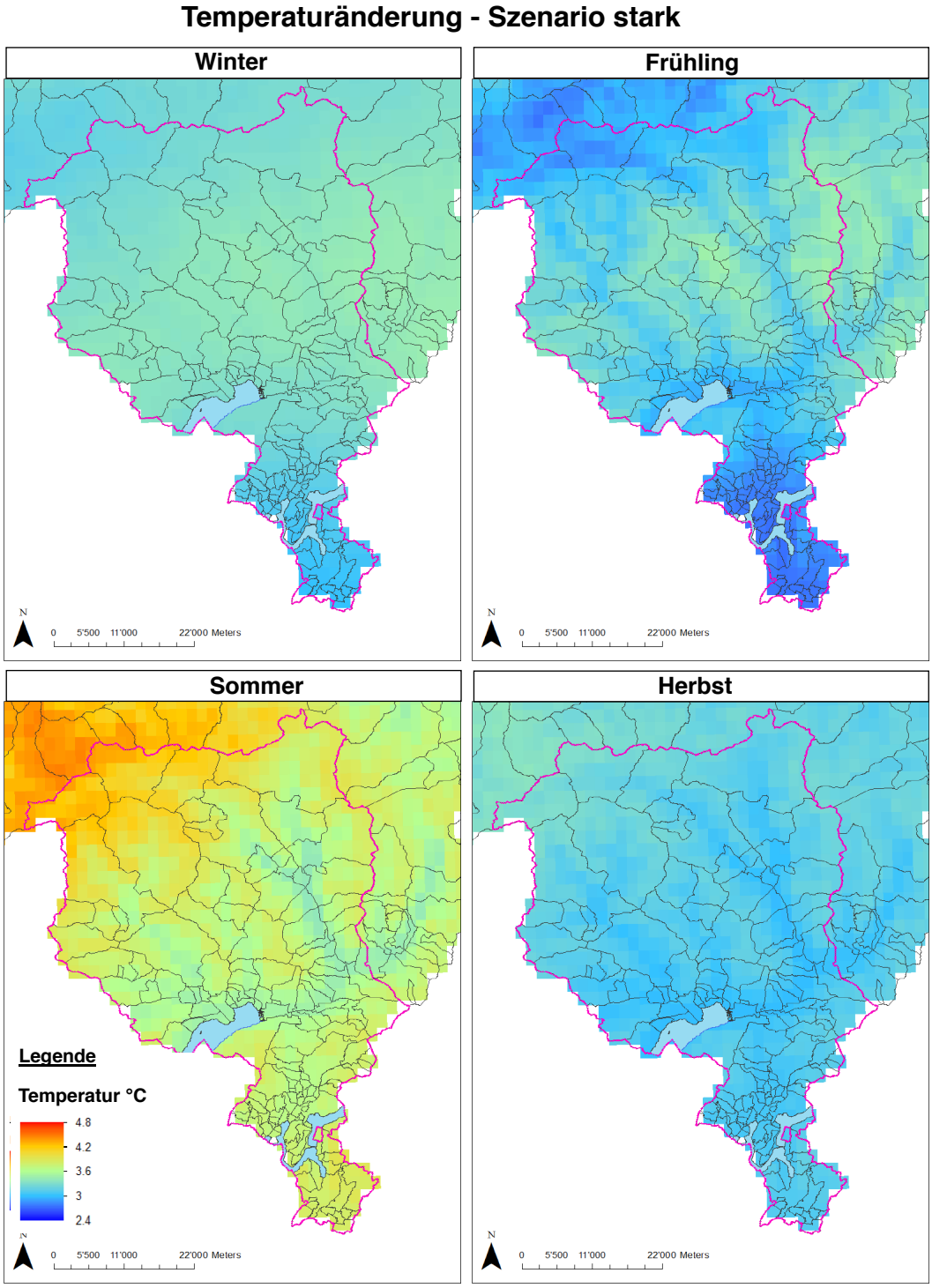


Abbildung 29: Abweichung der saisonalen Mitteltemperaturen im Jahr 2060 gegenüber der Referenzperiode 1980-2009, Szenario stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).

4.3.2. Niederschlag 2060

Im Vergleich zur Temperatur sind die Projektionen der Niederschlagswerte mit viel grösseren Unsicherheiten verbunden und müssen mit Vorsicht ausgewertet werden (MeteoSchweiz,

2014b). Besondere Vorsicht ist unter dem Szenario stark geboten. Die Ergebnisse weisen eine sehr grosse Unsicherheitsspannweite auf (vgl. Abbildung 17).

Die Tabelle 8 zeigt die prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen pro Jahreszeit gegenüber dem Referenzszenario (1980 – 2009).

	Szenario schwach				Szenario stark			
	DJF	**MAM**	**JJA**	**SON**	**DJF**	**MAM**	**JJA**	**SON**
San Bernardino	4.3	-1.6	-6.0	-2.3	29.3	15.1	-20.9	-20.3
Biasca	6.7	-1.5	-8.4	0	38.1	17.4	-27.2	-19.3
Lugano	7.4	-3.9	-9.1	-1.0	36.5	11.7	-27.0	-19.3

Tabelle 8: ***Prozentuale Abweichungen der jährlichen Niederschlagssummen gegenüber dem Referenzszenario für die Szenarien schwach und stark. Die positiven Abweichungen sind in blau, die negativen in rot dargestellt (MeteoSchweiz, 2014b). DJF bezeichnet die Wintermonate (Dezember, Januar und Februar), MAM die Frühlingmonate (März, April und Mai), JJA die Sommermonate (Juni, Juli und August) und SON die Herbstmonate (September, Oktober und November).***

Das Szenario schwach sieht eine leichte Zunahme der Niederschläge im Winter und einen leichten Rückgang im Sommer vor, während für den Frühling und Herbst keine signifikanten Änderungen zu erwarten sind. Im Fall des Szenarios stark kommt es zu einer erheblichen Zunahme der Niederschläge im Winter und zu einer leichteren im Frühling. Im Sommer und Herbst ist hingegen mit einer deutlichen Abnahme der Niederschläge zu rechnen.

Die horizontale Verteilung der prozentualen Abweichungen der Niederschlagssummen sind in Abbildung 30 und Abbildung 31 für beide Szenarien und alle vier Jahreszeiten grafisch dargestellt.

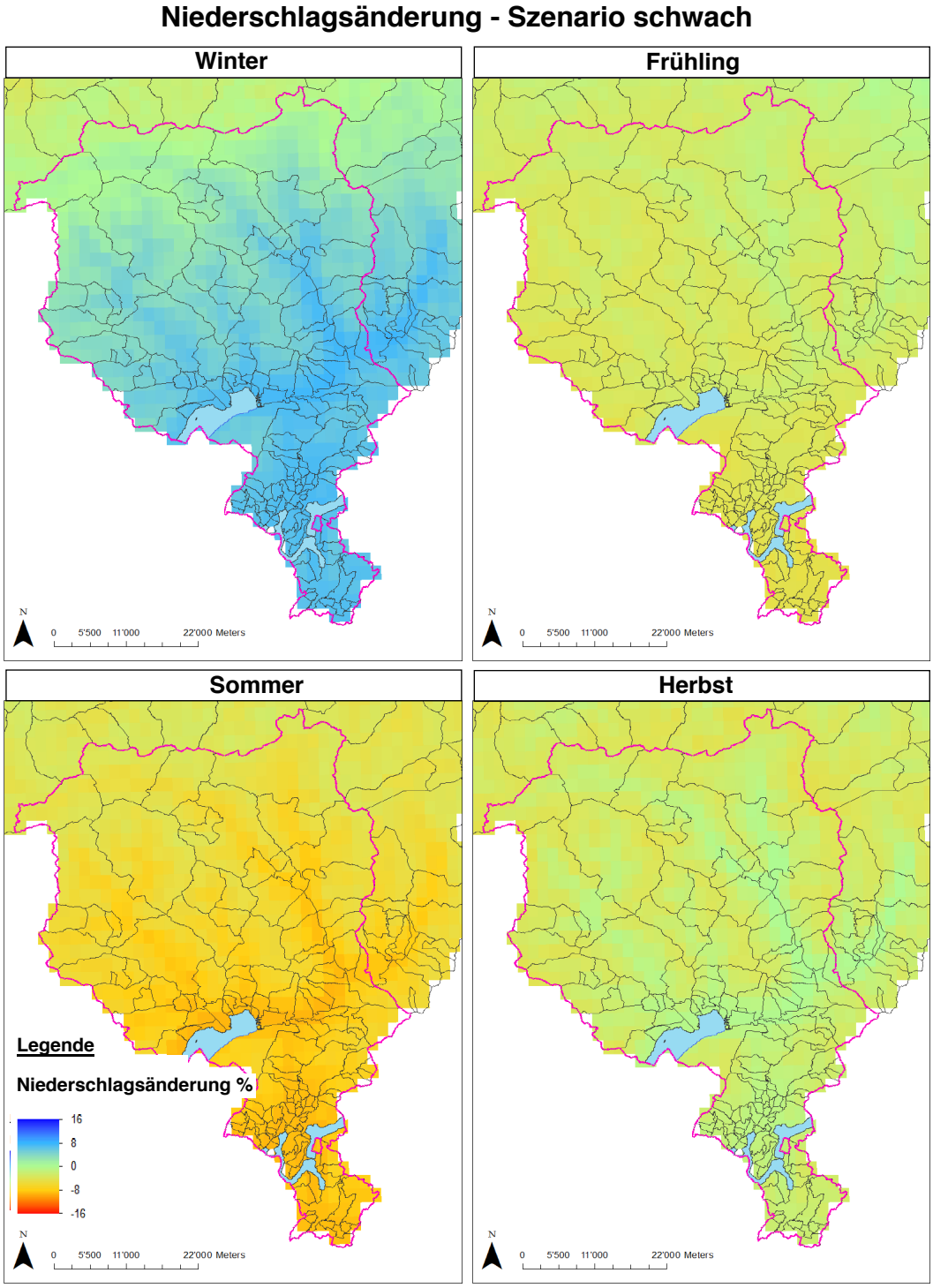


Abbildung 30: Mittlere jahreszeitliche Abweichungen der Niederschlagssummen für das Jahr 2060 gegenüber der Referenzperiode 1980-2009 unter dem Szenario schwach. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).

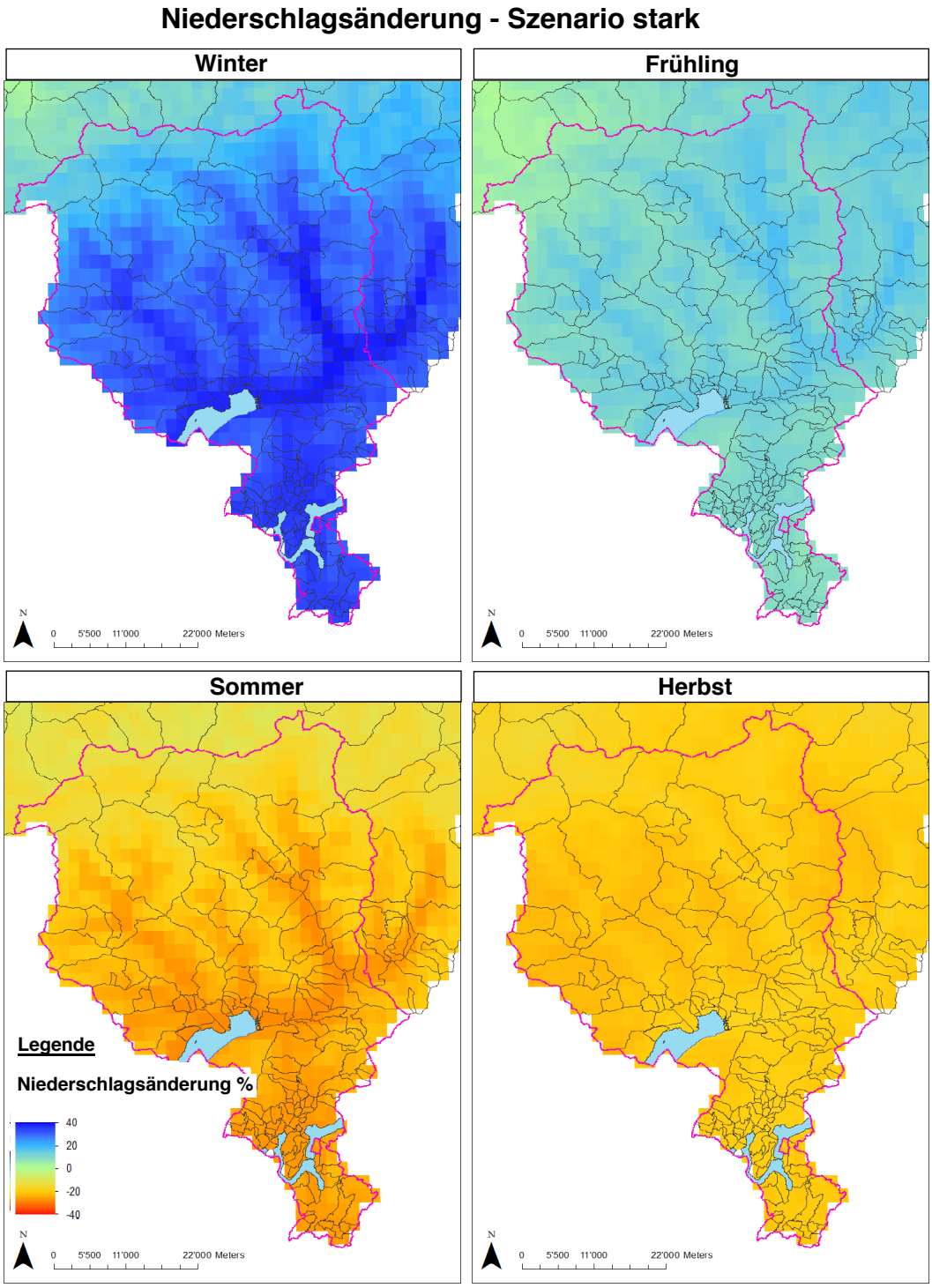


Abbildung 31: Mittlere jahreszeitliche Abweichungen der Niederschlagssummen gegenüber der Referenzperiode 1980-2009 für das Jahr 2060 (Szenario stark). In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).

4.4. KLIMAINDIKATOREN 2060

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Auswirkungsbereiche können mit Hilfe von verschiedenen Indikatoren analysiert werden, deren Werte auf den Klimaszena-

rien basieren. Diejenigen Klimaindikatoren, welche temperaturabhängig sind, weisen geringere Unsicherheiten auf als jene, welche vom Niederschlag abhängen.

Die Entwicklung der verwendeten Klimaindikatoren wird ähnlich wie bereits zuvor für die Temperatur und den Niederschlag ausgeführt. Einerseits werden sie auf einer Karte des Tessins dargestellt und andererseits ihre Werte für die Stationen San Bernardino, Biasca und Lugano aufgelistet.

4.4.1. Hitzeindikatoren

Sommertage

Beide Szenarien zeigen ein Anstieg der Sommertage bis 2060, vor allem für die Talsohlen des Sopraceneri und die Ebenen in Seenähe des Sottoceneri. Heute werden in Biasca und Lugano im Mittel rund 66 Sommertage registriert. Für 2060 ist in diesen Orten unter dem Szenario schwach eine Zunahme auf 89 und unter dem Szenario stark auf 112 Sommertage zu erwarten. Zum Vergleich: In Lugano wurden im Hitzesommer 2003 insgesamt 112 Sommertage festgestellt. In den Gebirgsregionen ist die Zunahme der Sommertage weniger markant. Hier erreicht die Temperatur generell nur sehr selten die 25°C-Marke. Heute tritt in San Bernardino pro Jahr im Schnitt 1 Sommertag auf. Für das Jahr 2060 ist gemäss Szenario schwach mit 2 und gemäss Szenario stark mit 9 zu rechnen.

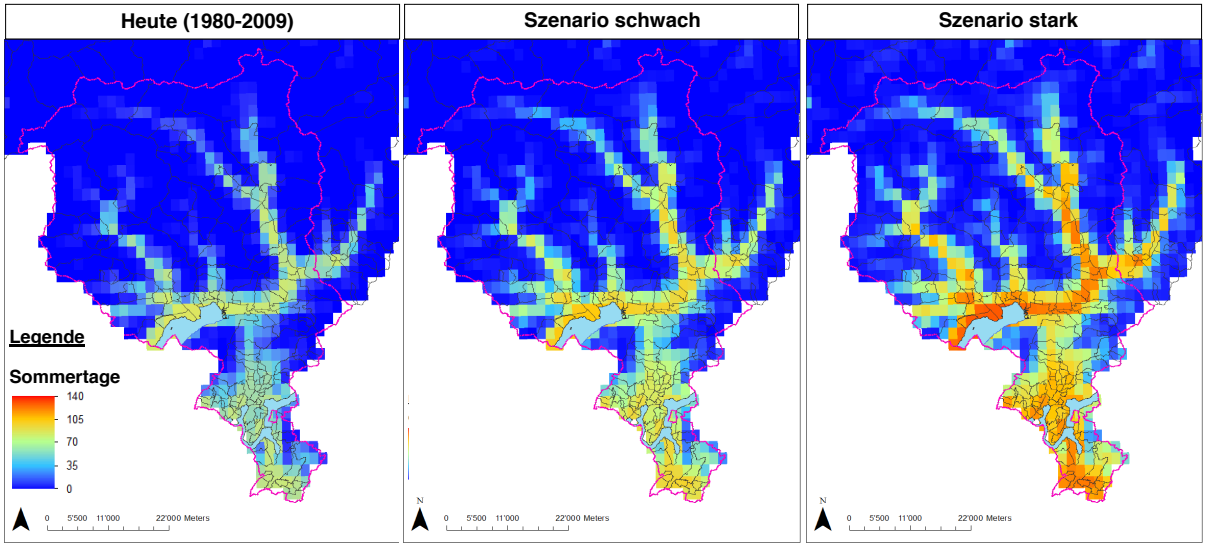


Abbildung 32: Räumliche Verteilung der Anzahl Sommertage unter dem Referenzszenario (1980-2009) und die Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).

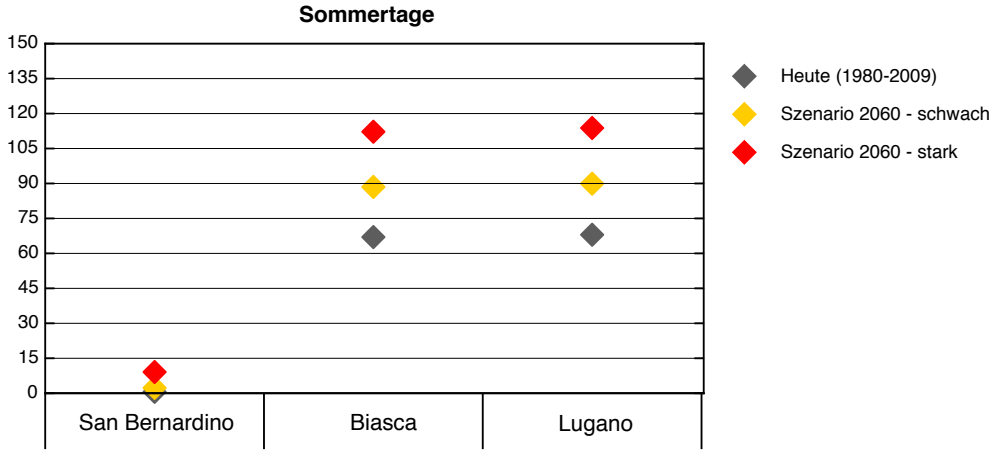


Abbildung 33: ***Anzahl Sommertage pro Jahr unter dem Referenzszenario, dem Szenario schwach und dem Szenario stark an den Stationen San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Hitzetage

Hitzetage sind auch in Zukunft auf die Talsohlen des Sopraceneri und die Ebenen in Seenähe des Sottoceneri beschränkt. In San Bernardino ist auch unter dem Szenario stark kein Hitzetag zu erwarten. In tiefen Lagen sind die Änderungen hingegen erheblich. Für Biasca wird ein Anstieg von heute 8 Hitzetage auf 21 (Szenario schwach) resp. 44 (Szenario stark) erwartet. In Lugano nimmt die Zahl der Hitzetage von heute 9 auf 24 (Szenario schwach) resp. 47 (Szenario stark) zu.

Es gilt allerdings zu beachten, dass der Wert dieses Indikators sehr empfindlich auf kleine Variationen der Temperaturverteilung reagiert und folglich sehr unsicher ist (vgl. 4.1.2).

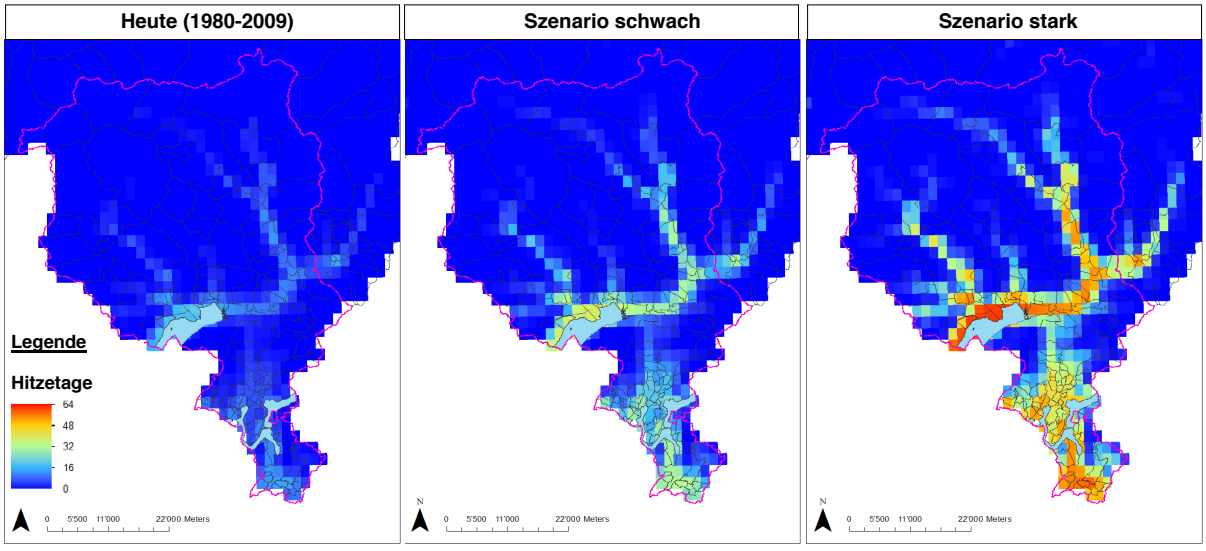


Abbildung 34: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Hitzetage unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

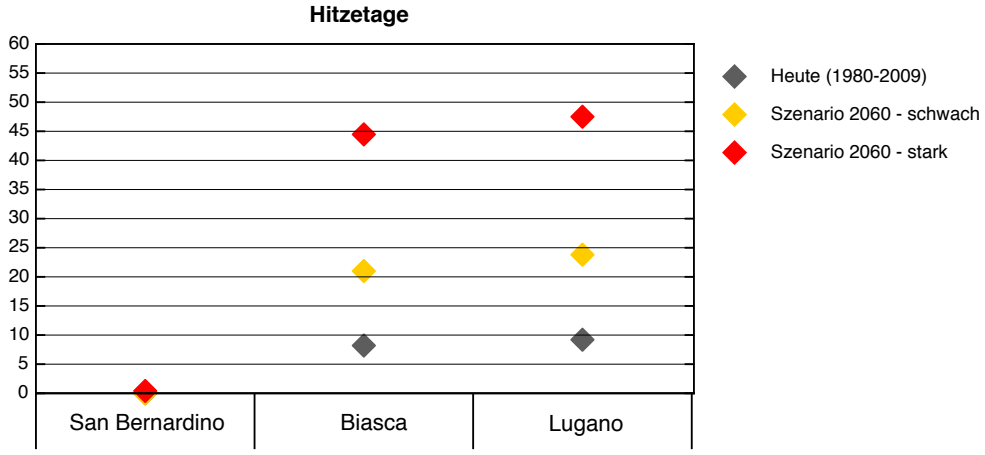


Abbildung 35: ***Anzahl Hitzetage pro Jahr unter dem Referenzszenario und unter den beiden Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Tropennächte

Die projizierte Temperaturzunahme führt auch zu einer Zunahme der Tropennächte. Die Änderungen sind vor allem in den Tallagen des Sopraceneri und den Ebenen in Seenähe des Sottoceneri bedeutsam, während sie in den Gebirgsregionen aufgrund der tiefen Minimaltemperaturen kaum vorkommen. In San Bernardino sind analog zu den Hitzetagen auch unter dem Szenario stark keine Tropennächte zu erwarten. In Biasca kommt es von heute 2 zu künftig 10 (Szenario schwach) resp. 33 (Szenario stark) Tropennächten. In Lugano werden trotz der ähnlicher Höhenlage wie Biasca heute deutlich mehr Tropennächte registriert (13 Tropennächte). Während in Biasca intensive Talwinde herrschen, liegt Lugano am See, der die Abkühlung der nächtlichen Lufttemperatur verlangsamt und somit zu einer höheren minimalen Nachttemperatur führt. In Lugano nimmt die Zahl der Tropennächte auf 33 (Szenario schwach) resp. 63 (Szenario stark) Tropennächte zu.

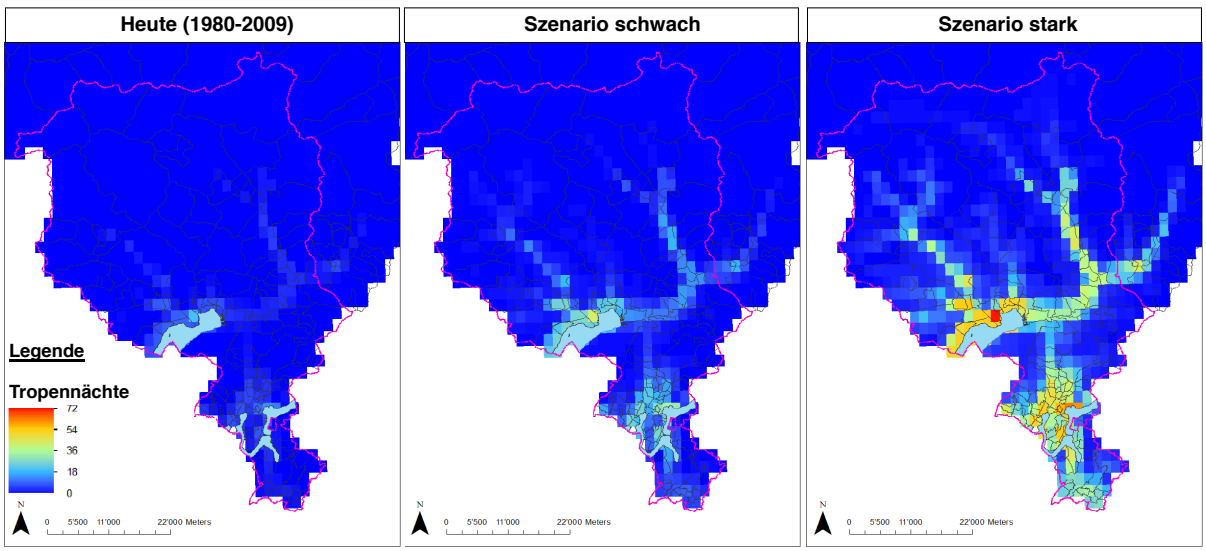


Abbildung 36: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Tropennächte pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und unter den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

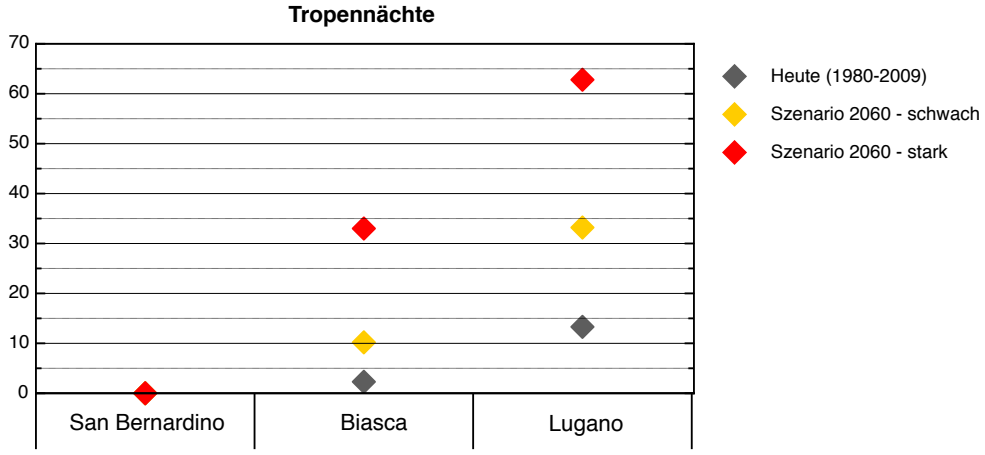


Abbildung 37: ***Anzahl Tropennächte pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Sehr heisse Tage

Der Klimaindikator sehr heisse Tage kann extreme Hitzeereignisse, zusätzlich zu den Hitzetagen und Tropennächten, charakterisieren. Heute werden im ganzen Kanton nur selten sehr heisse Tage verzeichnet. Einzig in Locarno tritt im Mittel alle zwei Jahre ein sehr heisser Tag auf. Das Szenario schwach prognostiziert im Mittel einen sehr heissen Tag alle zwei Jahre für Biasca und Lugano. Das Szenario stark prognostiziert im Mittel 2.8 in Biasca und 3.5 in Lugano.

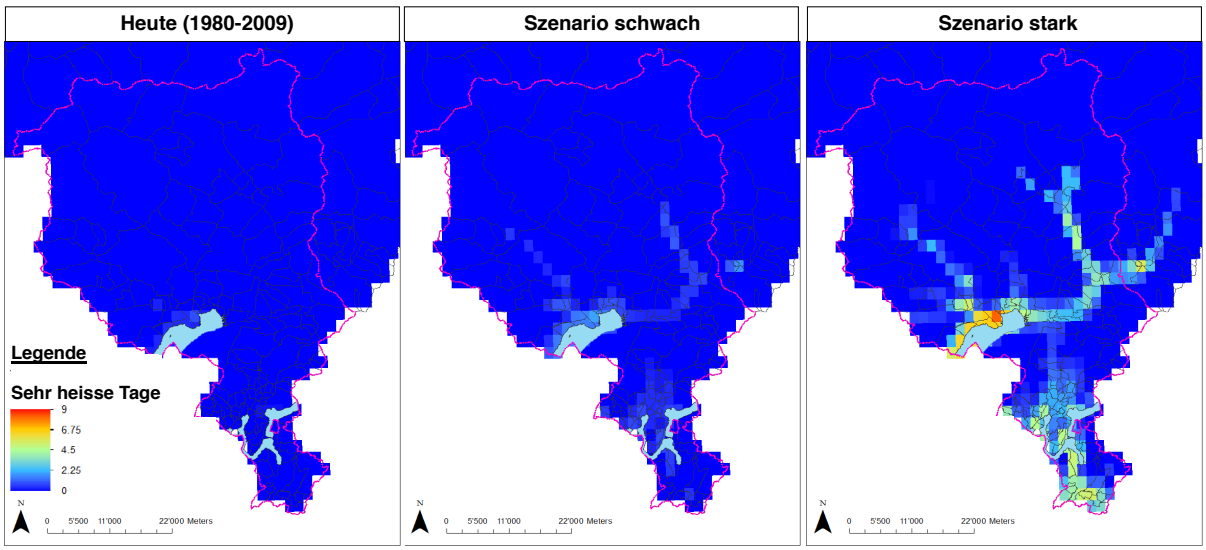


Abbildung 38: ***Räumliche Verteilung der Anzahl sehr heisser Tage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

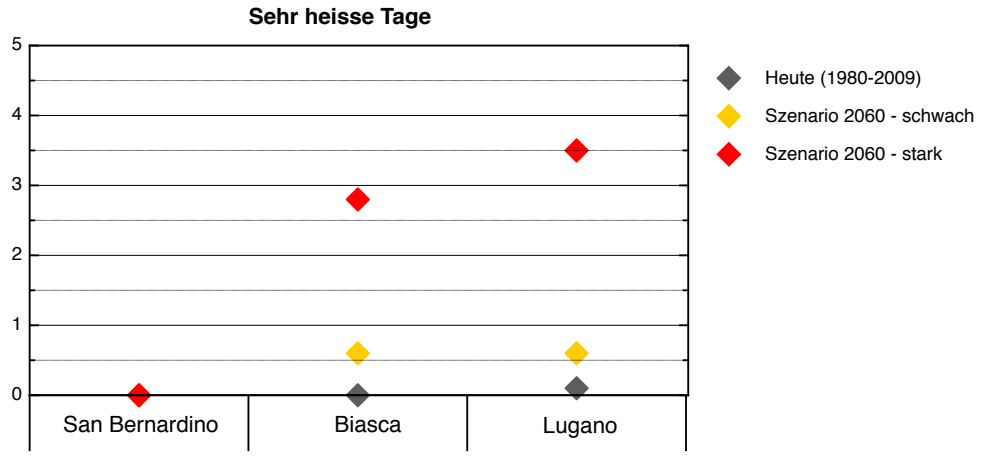


Abbildung 39: ***Anzahl sehr heisse Tage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

4.4.2. Kälteindikatoren

Frosttage

Die Klimaszenarien für das Jahr 2060 zeigen eine Abnahme der Frosttage in allen Höhenlagen. In San Bernardino nehmen sie von heute 184 Frosttagen auf 155 (Szenario schwach) resp. 121 Frosttage ab (Szenario stark). In Biasca werden heute 56 Frosttage registriert. Im Jahr 2060 sind es gemäss Szenario schwach noch deren 32, gemäss Szenario stark noch deren 13. Lugano weist mit heute 25 deutlich weniger Frosttage auf als Biasca, trotz ähnlicher Höhenlage. Der Grund ist wahrscheinlich die Nähe Luganos zum See, welcher die täglichen Temperaturschwankungen abschwächt. Für das Jahr 2060 ist in Lugano noch mit 11 (Szenario schwach) resp. nur noch mit zwei Frosttagen zu rechnen (Szenario stark).

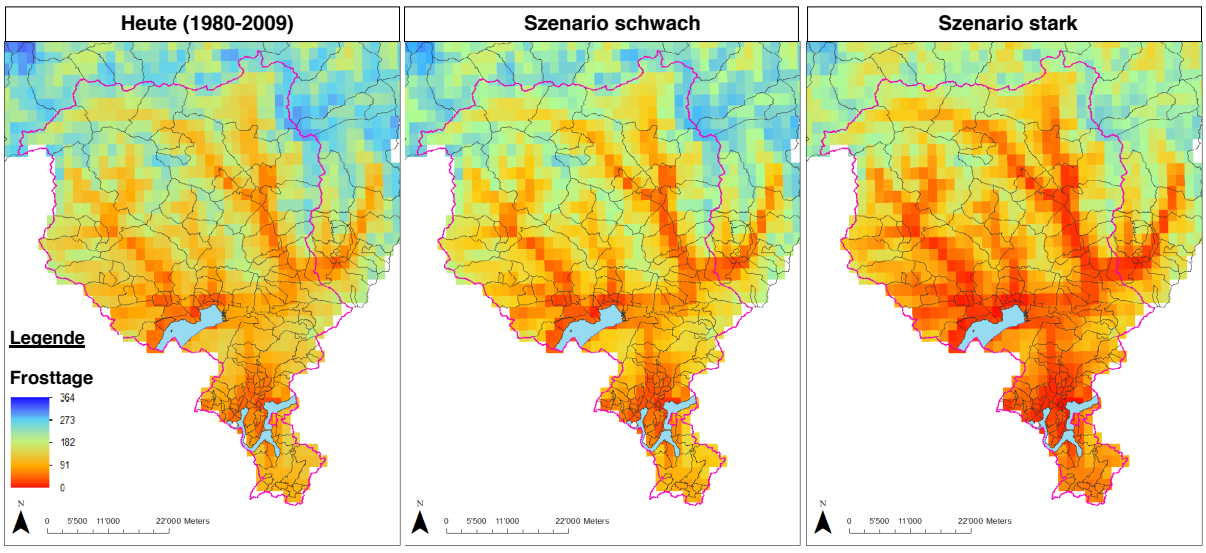


Abbildung 40: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Frosttage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und unter den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

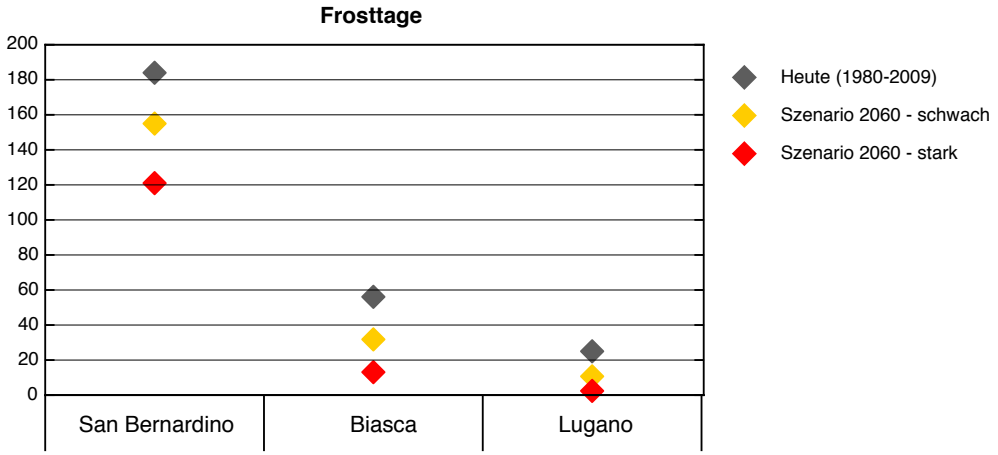


Abbildung 41: ***Anzahl Frosttage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach- und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Frostwechseltage

Die Szenarien zeigen ebenfalls eine Abnahme der Frostwechseltage im ganzen Kanton. Heute werden in San Bernardino im Durchschnitt 126 Frostwechseltage pro Jahr beobachtet. Im Falle des Szenario schwach werden es 116 und im Szenario stark noch 100 sein. In Biasca sinkt die Anzahl Frostwechseltage pro Jahr von heute 55 auf 31 (Szenario schwach), respektive 13 (Szenario stark). In Lugano, wo weniger Frostwechseltage auftreten, werden heute 24 registriert. Unter dem Szenario schwach werden noch 10, unter dem Szenario stark nur noch 2 Frostwechseltage registriert werden.

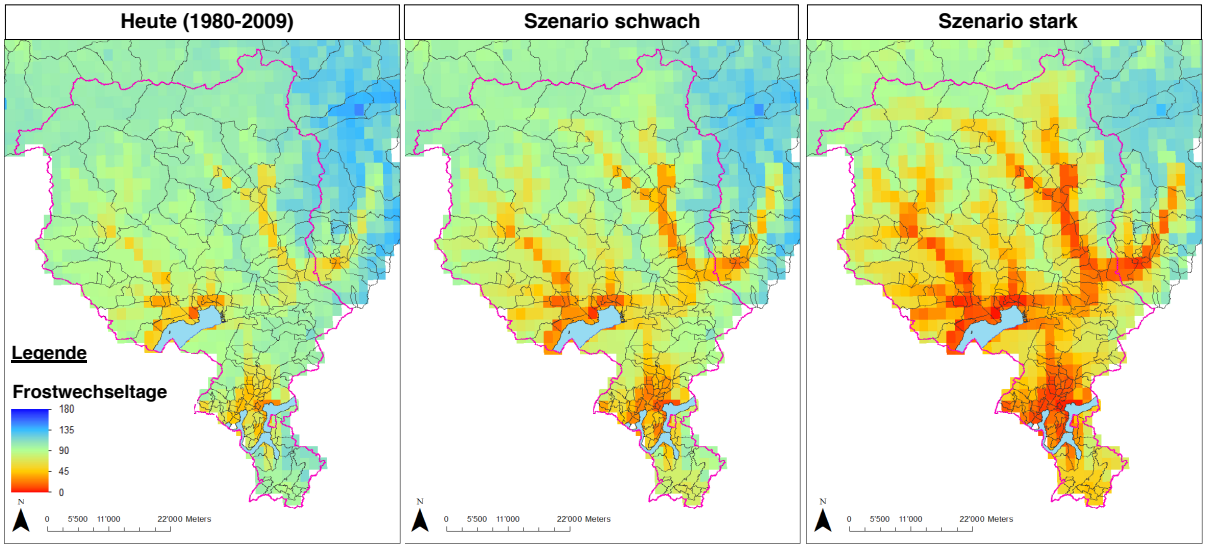


Abbildung 42: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Frostwechseltage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

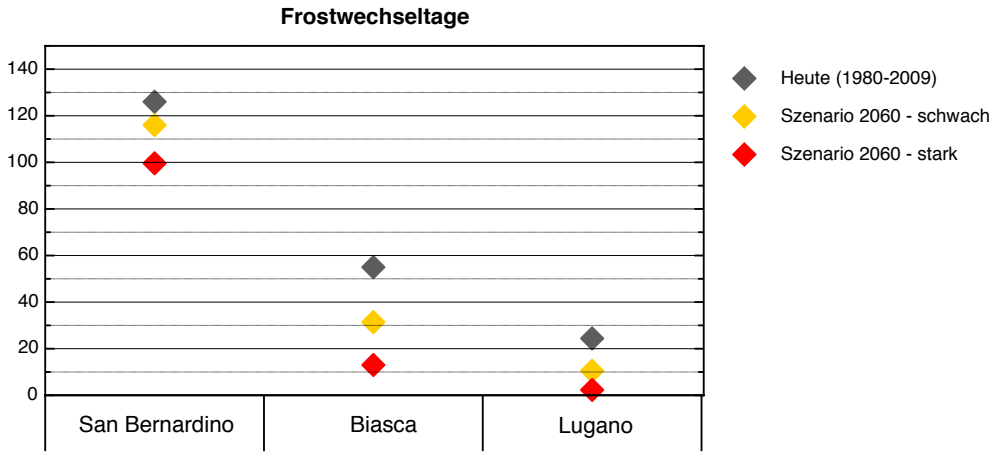


Abbildung 43: ***Anzahl Frostwechseltage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Eistage

Die Entwicklung des Klimaindikators Eistage ist besonders für die Gebirgsregionen bedeutsam. In den Tallagen des Sopraceneri und den Ebenen in Seenähe des Sottoceneri werden diese äusserst selten beobachtet. In Biasca tritt heute im Schnitt ein Eistag pro Jahr auf, in Lugano ist es einer alle zwei Jahre. In den Gebirgsregionen sieht die Situation anders aus. In San Bernardino werden heute 58 Eistage pro Jahr festgestellt. Im Jahr 2060 werden es noch 39 (Szenario schwach) respektive 21 (Szenario stark) sein, also ca. dreimal weniger als heute.

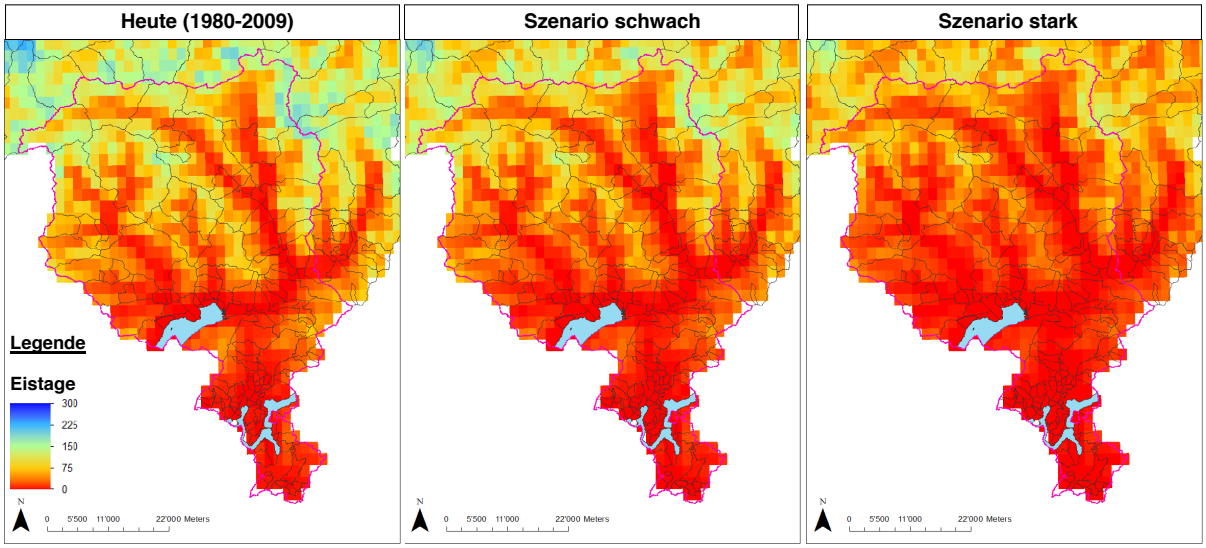


Abbildung 44: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Eistage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

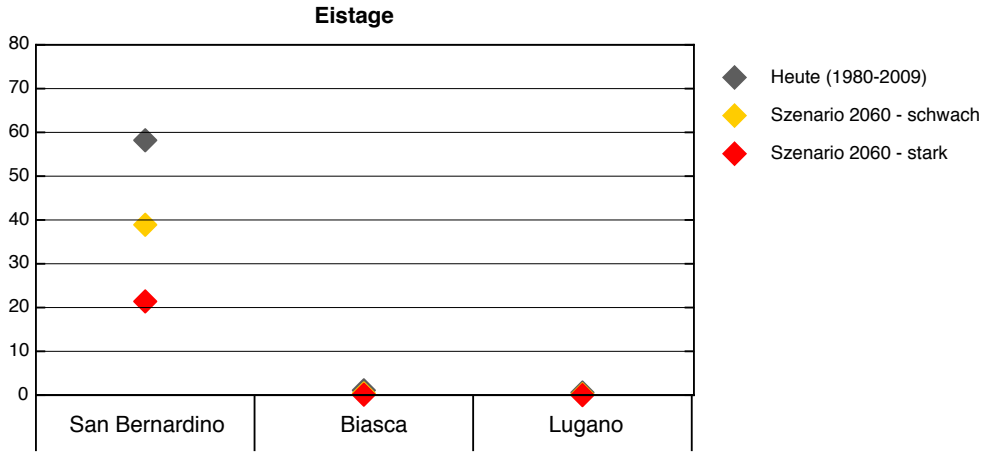


Abbildung 45: ***Anzahl Eistage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

4.4.3. Energie-Indikatoren

Kühltage

Ein weiterer Effekt des Temperaturanstiegs ist die Zunahme der Kühltage. In den Gebirgsregionen werden gemäss den Szenarien einige wenige Kühltage pro Jahr auftreten. In San Bernardino wird heute ein Kühltag gemessen, in Zukunft werden es 4 (Szenario schwach) resp. 15 Kühltage sein (Szenario stark). In tieferen Lagen ist die Anzahl der Kühltage bedeutend grösser. In Biasca sind es heute im Mittel 84, gemäss Szenario schwach werden es 107 und gemäss Szenario stark 135 sein. In Lugano treten heute durchschnittlich 99 Kühltage auf, im Jahr 2060 werden es 121 gemäss Szenario schwach und 144 gemäss Szenario stark sein.

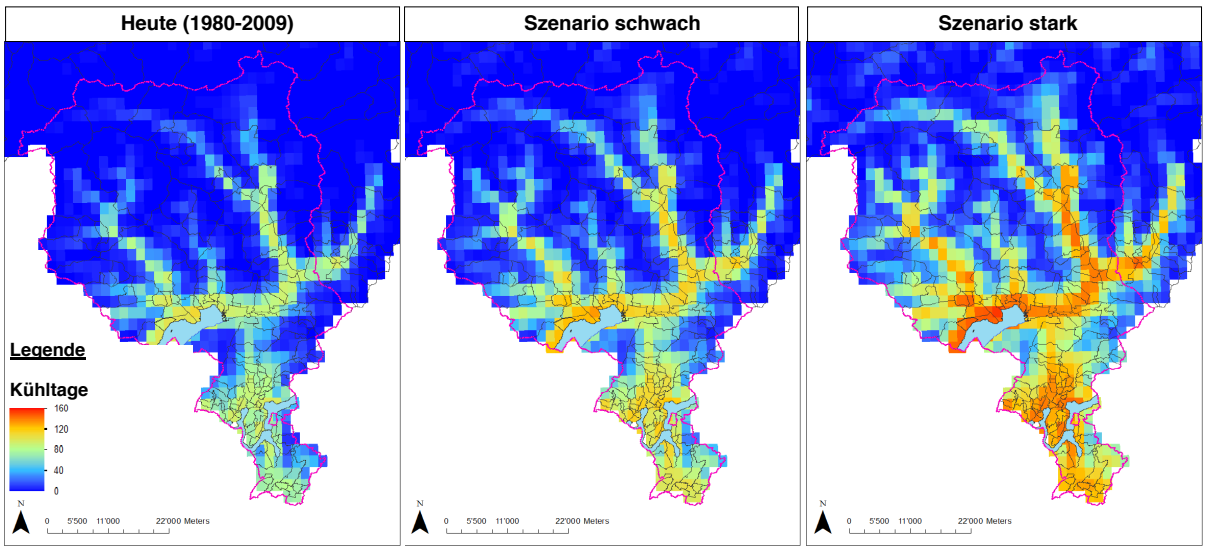


Abbildung 46: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Kühltage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee. Quelle: MeteoSchweiz.***

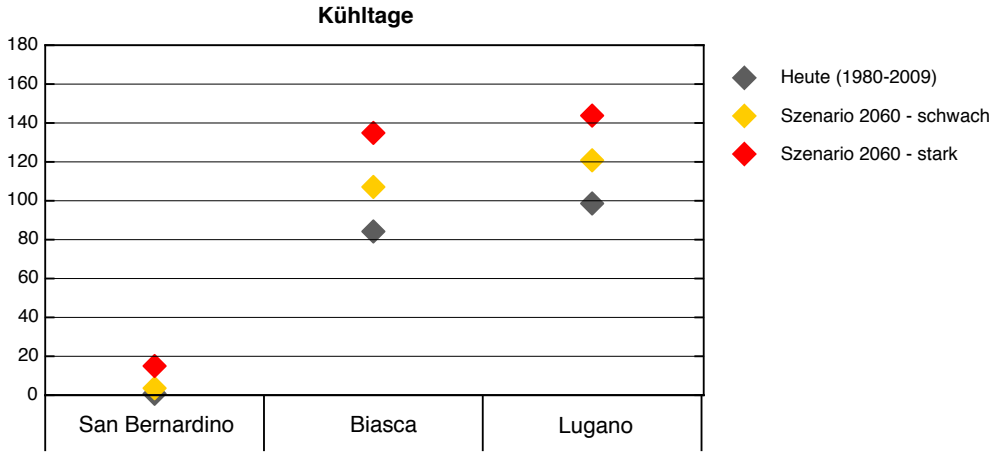


Abbildung 47: ***Anzahl Kühltage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Kühlgradtage

Der Anstieg der Kühlgradtage ist vor allem in den Tallagen des Sopraceneri und den Ebenen in Seenähe des Sottoceneri relevant (vgl. Abbildung 48). In Lugano nimmt die Zahl der Kühlgradtage von heute 326 auf 506 (Szenario schwach) resp. 757 (Szenario stark) zu. In Biasca werden heute 240 Kühlgradtage gemessen. Unter dem Szenario schwach werden es im Jahr 2060 384 und unter dem Szenario stark 603 sein. In den Gebirgsregionen werden deutlich weniger Kühlgradtage erreicht. Heute tritt in San Bernardino ein Kühlgradtag pro Jahr auf, nach Szenario schwach werden es 4 und nach Szenario stark 20 sein (vgl. Abbildung 49).

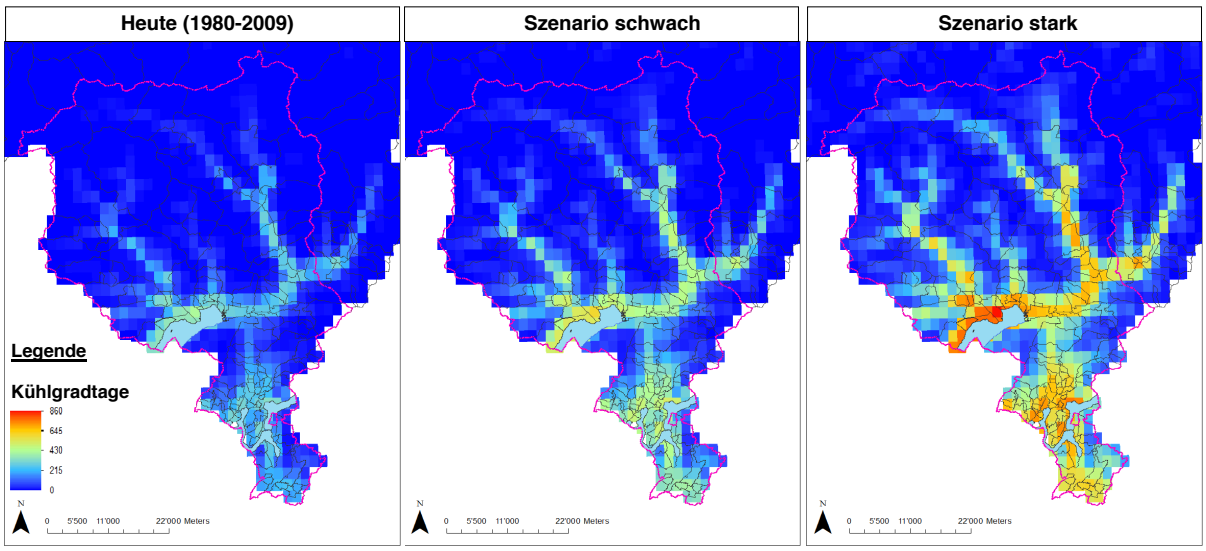


Abbildung 48: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Kühlgradtage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

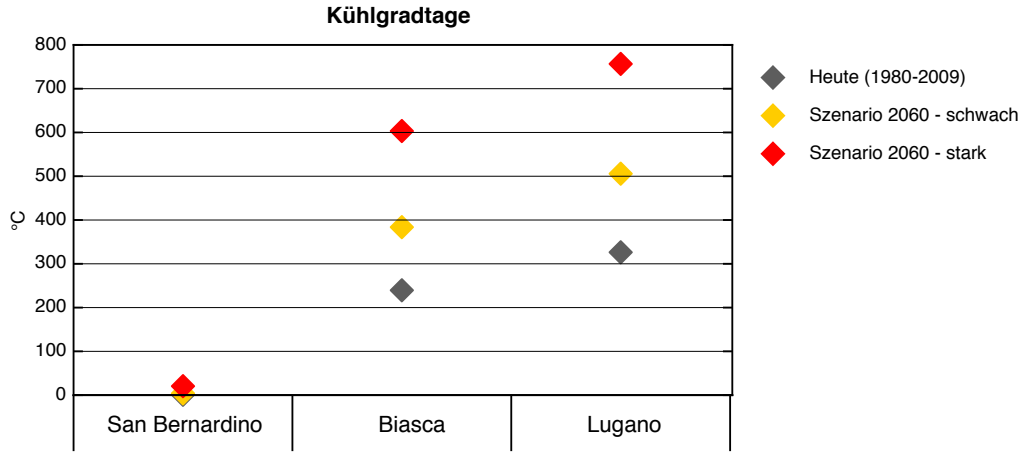


Abbildung 49: ***Anzahl Kühlgradtage pro Jahr unter dem Referenzszenario, Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Heiztage

Ein relevanter Klimaindikator in Zusammenhang mit dem Energieverbrauch sind die Heiztage. Bei beiden Szenarien für 2060 ist mit einer Abnahme dieser Tage zu rechnen (vgl. Abbildung 50). In San Bernardino werden heute 317 Heiztage registriert. Das Szenario schwach geht von einer Abnahme auf 293 und das Szenario stark von einer Abnahme auf 264 Tage aus. Biasca zählt heute im Mittel 186 Heiztage. In Zukunft werden es noch 165 (Szenario schwach) resp. 142 sein (Szenario stark). In Lugano gibt es heute rund 176 Heiztage, unter dem Szenario schwach werden es etwa 157 sein und unter dem Szenario stark noch ca. 133.

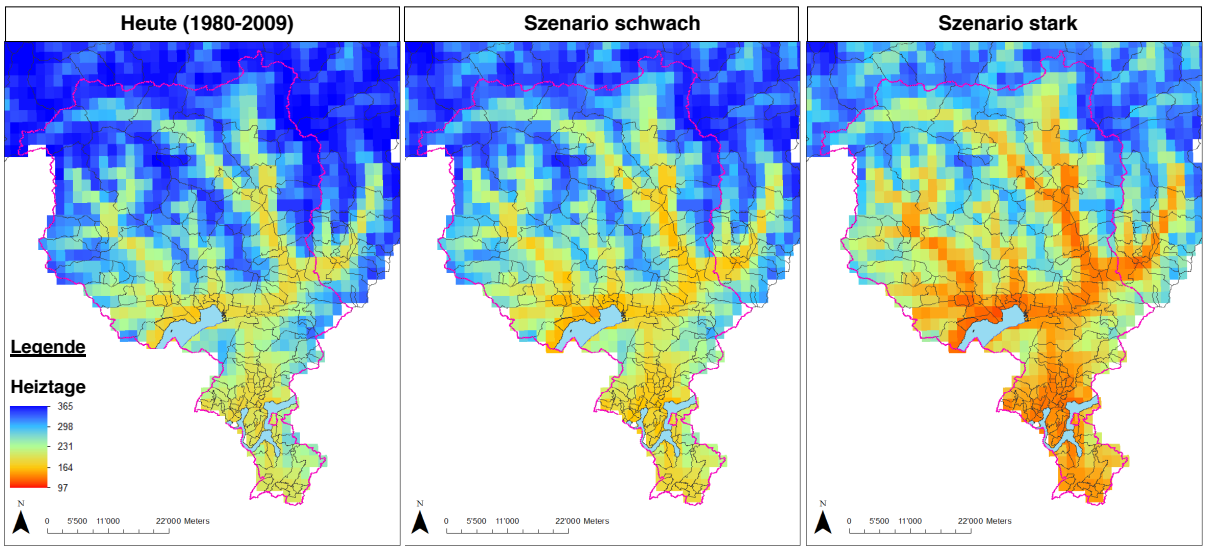


Abbildung 50: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Heiztage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

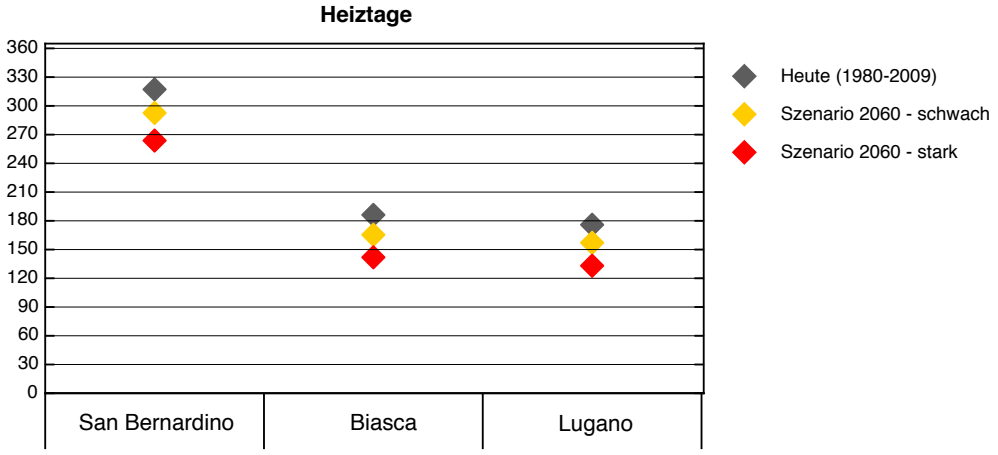


Abbildung 51: ***Anzahl Heiztage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Heizgradtage

Ähnlich wie die Heiztage werden auch die Heizgradtage bei zunehmender Mitteltemperatur abnehmen. In San Bernardino gehen die Heizgradtage von heute 5'697 auf 5'050 (Szenario schwach) resp. 4'315 (Szenario stark) zurück. Die Änderungen sind auch in tieferen Lagen relevant. In Biasca werden sie von heute 2'679 Heizgradtagen auf 2'260 (Szenario schwach) resp. 1'795 (Szenario stark) sinken. In Lugano nimmt ihre Zahl von heute 2'403 auf 2'041 (Szenario schwach) resp. 1'601 (Szenario stark) ab.

Im Tessin ist der Wert der Heizgradtage deutlich höher als jener der Kühlgradtage. Dies wiederspiegelt sich in der relativ tiefen mittleren Jahrestemperatur (12.4°C in Lugano), welche deutlich unter der für die Definition der Heizgradtage wichtigen Schwelle von 20°C liegt.

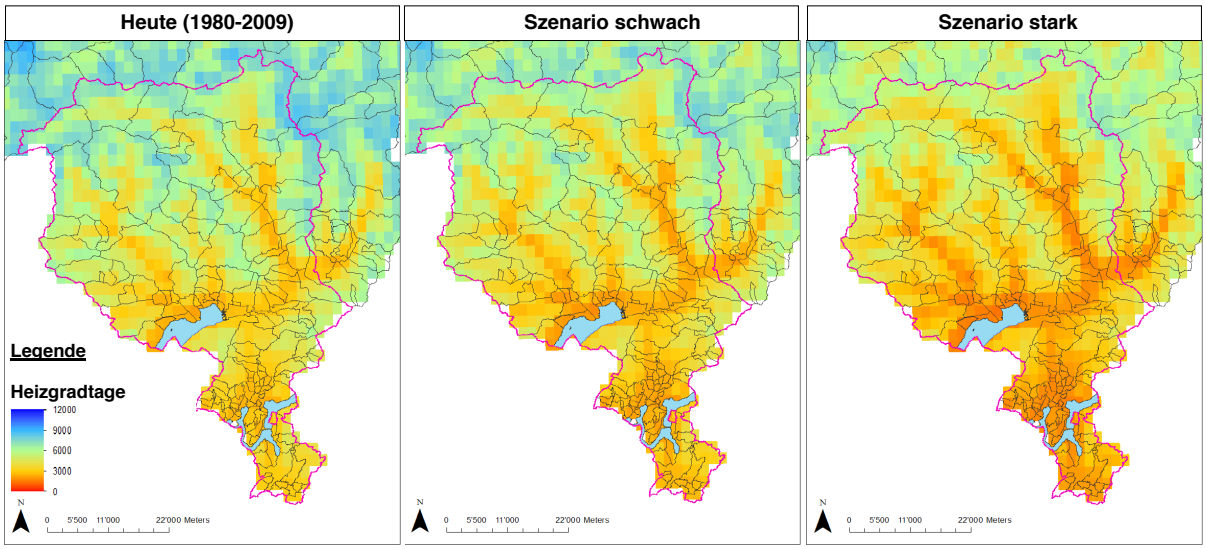


Abbildung 52: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Heizgradtage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

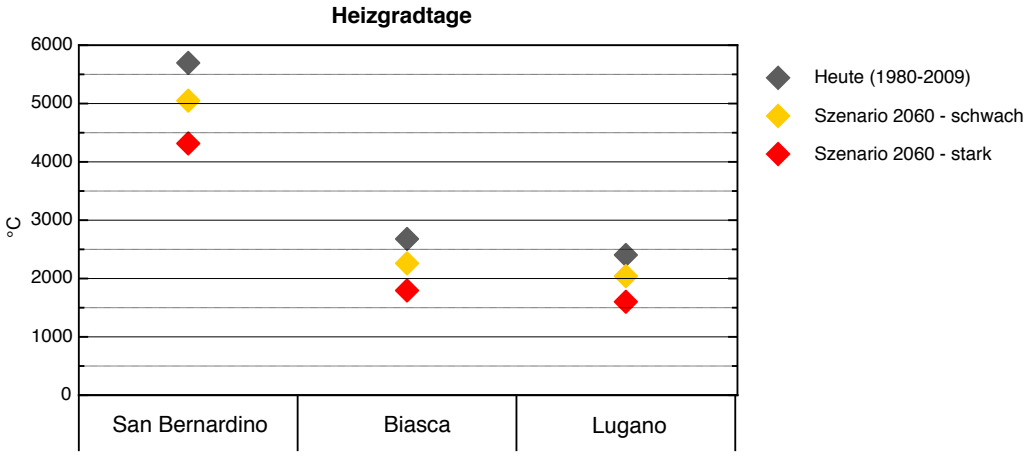


Abbildung 53: ***Anzahl Heizgradtage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

4.4.4. Andere Indikatoren

Neuschneetage

Die Anzahl Neuschneetage hängt sowohl von der Temperatur als auch vom Niederschlag ab. So wird die Anzahl Neuschneetage abnehmen, obschon gerade unter dem Szenario stark der Niederschlag zunehmen wird (vgl. Kapitel 4.3.2).

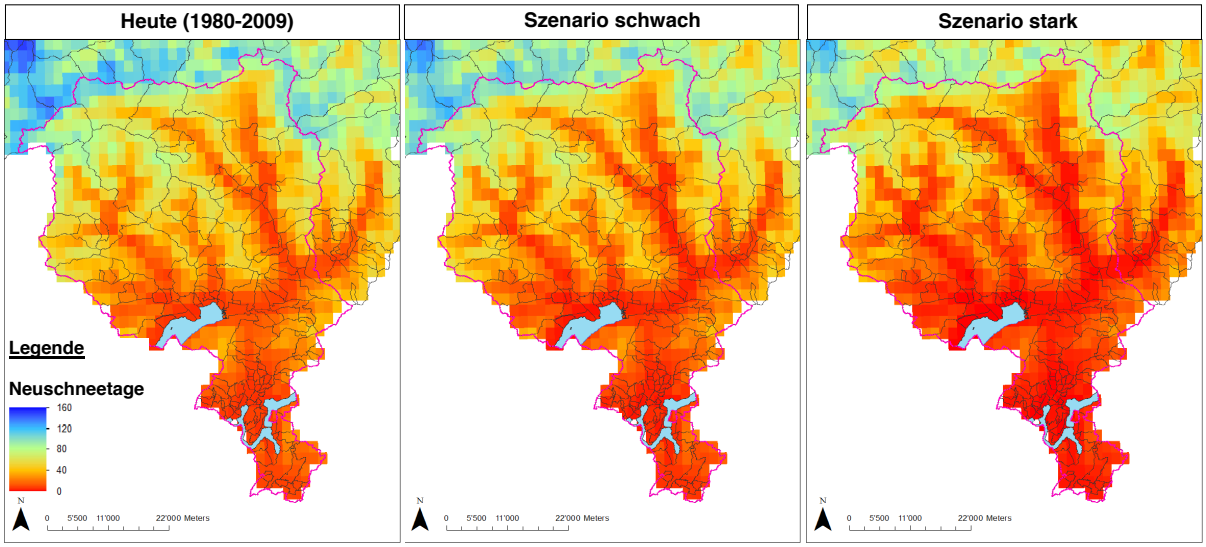


Abbildung 54: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Neuschneetage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

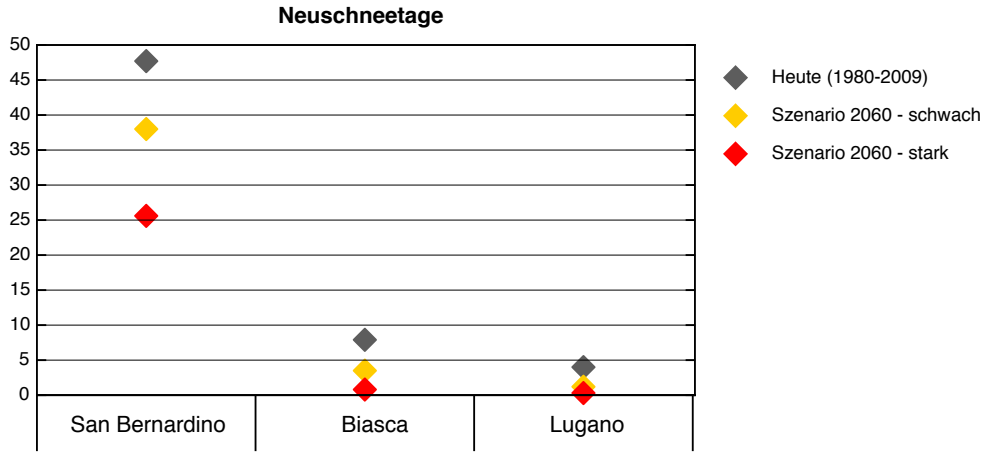


Abbildung 55: ***Jährliche Anzahl Neuschneetage in Bezug zum Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Heute werden in San Bernardino im Mittel 48 Neuschneetage registriert. Tritt das Szenario schwach ein, werden es noch 38 sein, unter dem Szenario stark nur noch 26. In Biasca wird die Zahl der Neuschneetage von heute 8 auf 4 (Szenario schwach) resp. 1 (Szenario stark) abnehmen. In Lugano sind es heute im Mittel 4 Neuschneetage pro Jahr. Im Szenario schwach wird es noch einen pro Jahr geben, im Szenario stark nur noch einen Neuschneetag alle drei Jahre (vgl. Abbildung 55).

Nassschneetage

Wie die Neuschneetage nehmen gemäss beiden Klimaszenarien auch die Nassschneetage ab, sowohl in tiefen als auch mittleren Lagen. In San Bernardino kommt es zu einer Abnahme von heute 27 auf 24 (Szenario schwach) resp. 18 Nassschneetage pro Jahr (Szenario stark). In Biasca und Lugano entspricht die Anzahl der Nassschneetage aufgrund der vorherrschenden Temperaturen bei allen Szenarien (inkl. Referenzszenario) jener der Neuschneetage (vgl. vorhergehenden Abschnitt).

Im Gegensatz zu den Neuschneetagen wird erwartet, dass aufgrund der Temperaturzunahme in den höheren Gebirgsregionen die Anzahl Nassschneetage konstant bleibt oder gar leicht zunimmt. Im Gotthardgebiet beispielsweise (46°33’ N, 8°42’ E, 2'377 m ü. M.) sind es heute 30, während es für 2060 bei beiden Szenarien rund 32 Nassschneetage pro Jahr sein werden (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57).

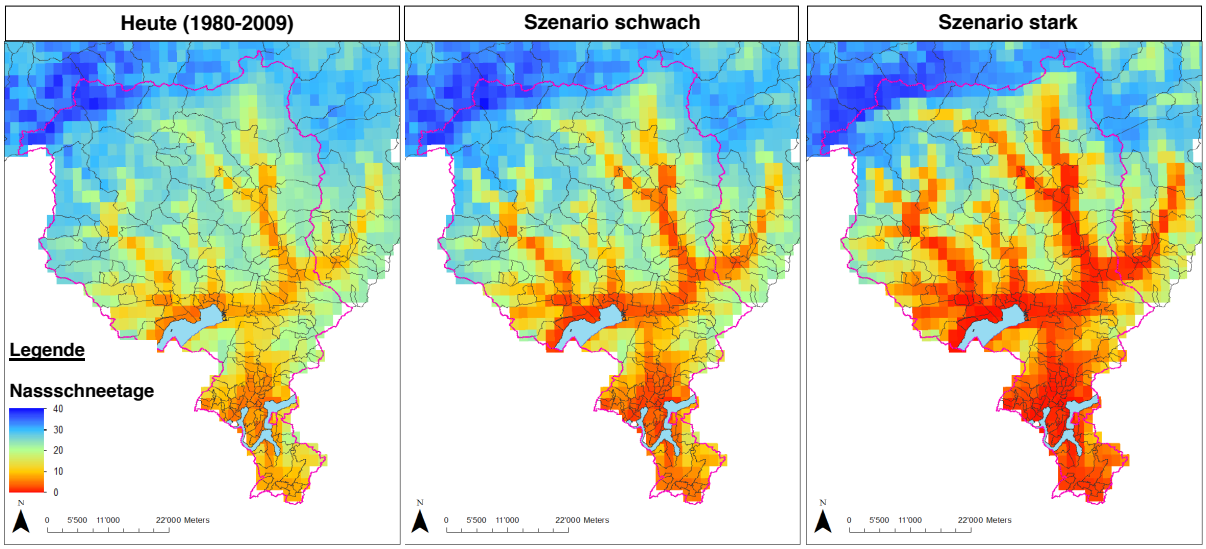


Abbildung 56: ***Räumliche Verteilung der Anzahl Nassschneetage pro Jahr unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

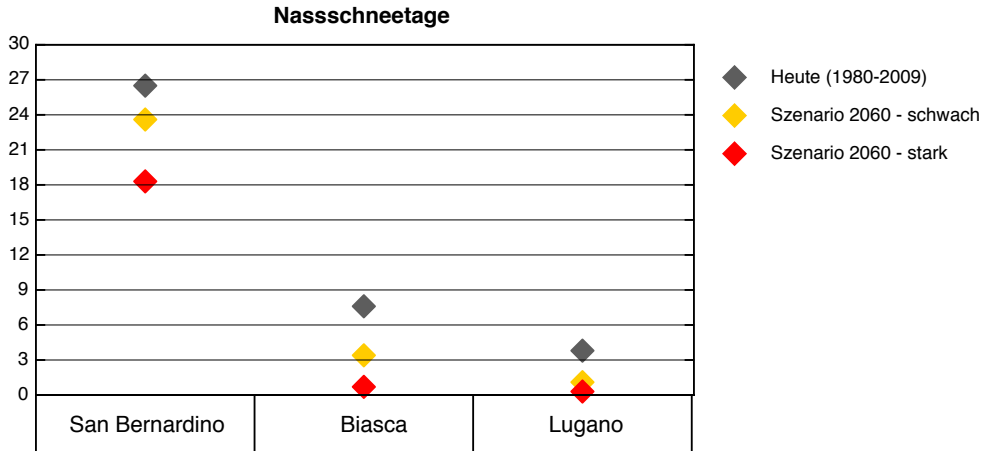


Abbildung 57: ***Anzahl Nassschneetage pro Jahr unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Dauer der Vegetationsperiode

Die Dauer der Vegetationsperiode tendiert im gesamten Kantonsgebiet unter beiden Klimaszenarien zuzunehmen. In San Bernardino beträgt die Dauer der Vegetationsperiode heute im Mittel 153 Tage pro Jahr. Im Jahr 2060 werden es gemäss Szenario schwach 176 resp. 214 Tage (Szenario stark) sein. In Biasca wird die Dauer der Vegetationsperiode von heute 281 Tage auf 305 (Szenario schwach) resp. 342 (Szenario stark) zunehmen. Lugano weist heute bereits eine Vegetationsperiode von einer Lägne von 302 Tagen auf. Diese verlängert sich auf 327 (Szenario schwach) resp. 352 Tage (Szenario stark).

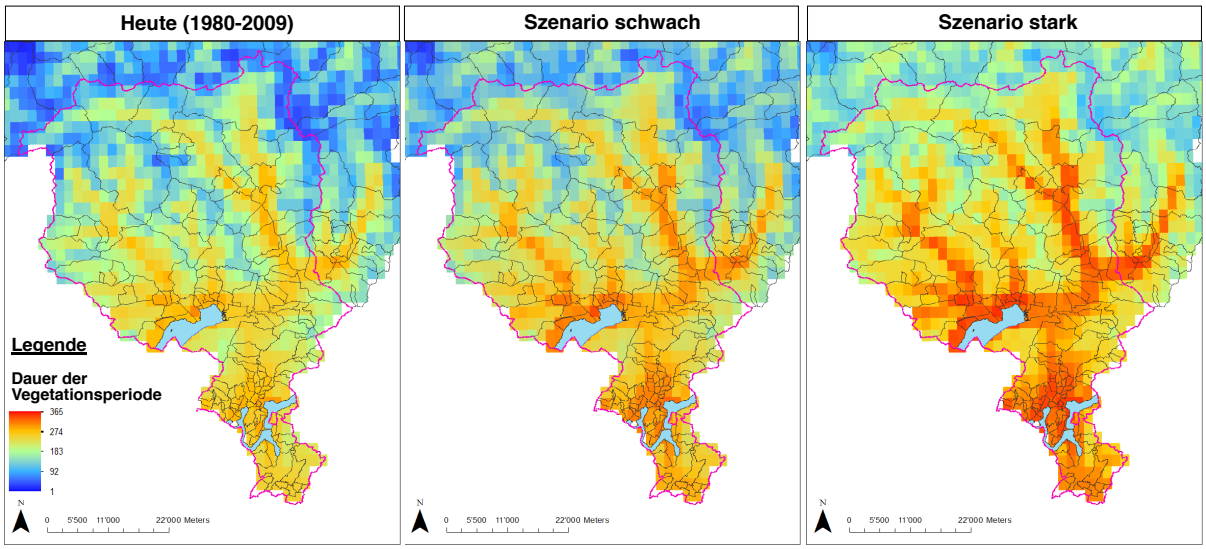


Abbildung 58: ***Räumliche Verteilung der Dauer der Vegetationsperiode (in Tagen) unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

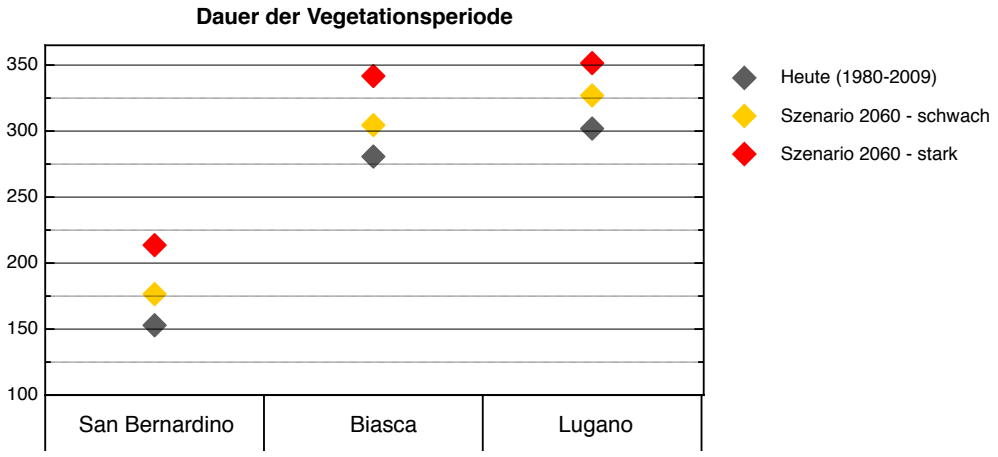


Abbildung 59: ***Dauer der Vegetationsperiode (in Tagen) unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark in San Bernardino, Biasca und Lugano (MeteoSchweiz, 2014b).***

Huglin-Index

Der Huglin-Index H ist ein bioklimatischer Parameter, welcher das thermische Potential des Klimas einer Region quantifiziert (Huglin, 1978). Der Index wurde entwickelt, um den möglichen Zuckergehalt verschiedener Traubensorten vorherzusagen. Er vermittelt damit Informationen bezüglich der Eignung der Kultivierung verschiedener Rebsorten an einem bestimmten Standort.

Bei beiden Klimaszenarien ist eine Erhöhung des Huglin-Index im ganzen Kanton zu erwarten. Speziell interessant ist die Entwicklung des Wertes in den Tallagen des Sopraceneri und in den Ebenen in Seenähe im Sottoceneri. Vielerorts wird in Zukunft der Huglin-Index den Grenzwert überschreiten, ab dem die Kultivierung von Weinreben überhaupt möglich ist. Dieser Grenzwert liegt ca. bei 1'500 Einheiten (vgl. Abbildung 60 und Abbildung 61).

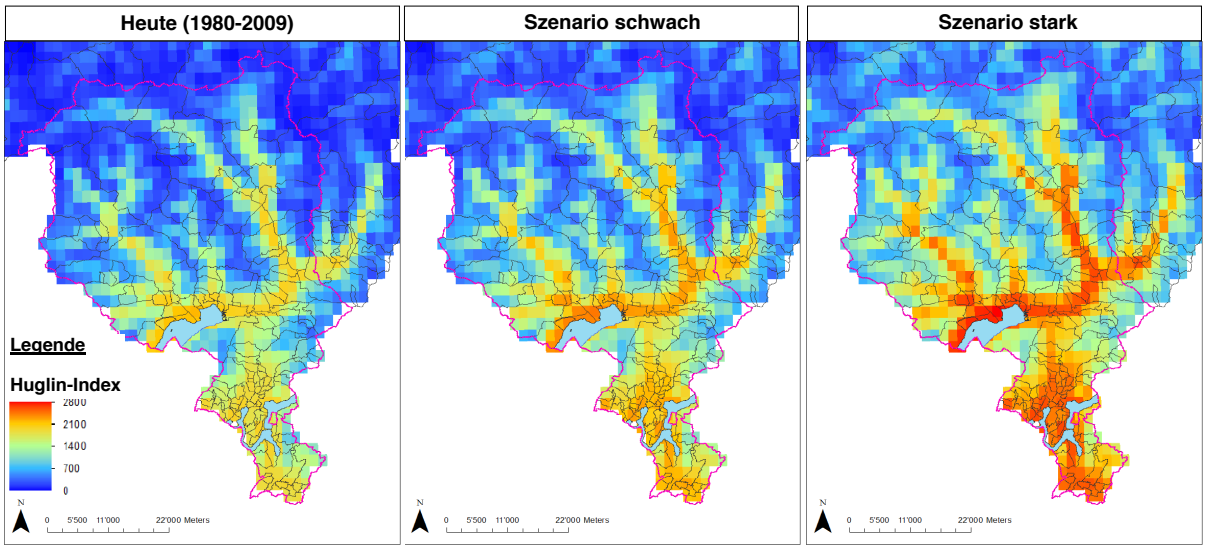


Abbildung 60: ***Räumliche Verteilung des Huglin-Index unter dem Referenzszenario (1980-2009) und den Szenarien 2060 schwach und stark. In rosa: Kantonsgrenze, in blau: Lago Maggiore und Luganersee (MeteoSchweiz, 2014b).***

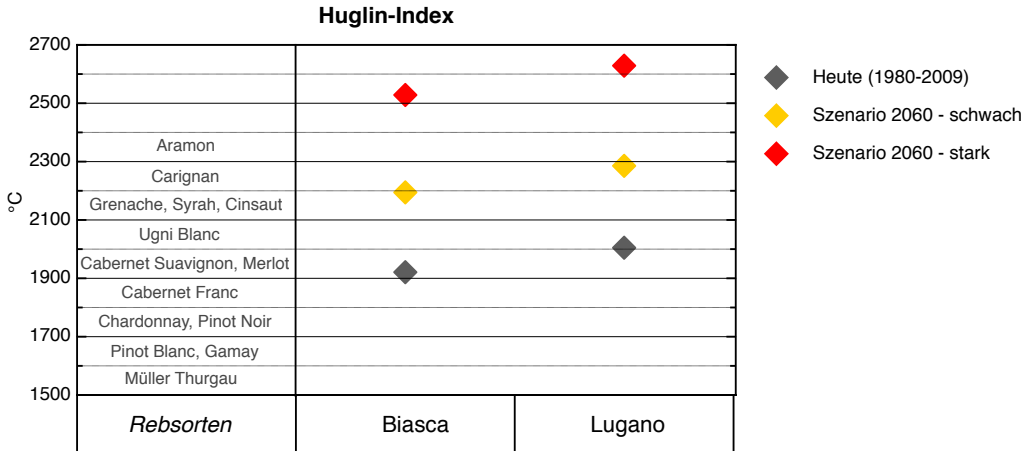


Abbildung 61: ***Huglin-Index unter dem Referenzszenario (heute) und den Szenarien schwach und stark in Biasca und Lugano. In der linken Spalte finden sich die Rebsorten welche sich beim jeweiligen Huglin-Index kultivieren lassen (MeteoSchweiz, 2014b).***

Für Biasca resp. Lugano beträgt der durchschnittliche Huglin-Index 1'927 resp. 2'005 Einheiten. Diese Werte deuten darauf hin, dass die Lagen für die Kultivierung von Merlot geeignet sind. Das Szenario schwach sieht für Biasca ein Erhöhung auf 2'195 Einheiten vor, während unter dem Szenario stark voraussichtlich 2'528 Einheiten erreicht werden. In Lugano wird unter dem Szenario schwach im Jahr 2060 voraussichtlich ein Wert von ungefähr 2'285 Einheiten erreicht und unter dem Szenario stark 2'629 Einheiten. Damit werden in Zukunft gemäss Szenario schwach in Biasca die Rebsorten Grenache, Syrah und Cinsaut sowie Carignan und in Lugano Carignan oder sogar Aramon kultivierbar sein.

Da der maximale Ertrag bei einem Huglin-Index zwischen 2300 und 2500 liegt, ist unter dem Szenario stark insbesondere in Lugano, wo der Huglin-Index 2500 übersteigt, mit einem Rückgang des Traubenernteertrags zu rechnen (Bucur & Dejeu, 2014).

Die ansteigende Mitteltemperatur und die folglich ansteigenden Werte des Huglin-Index bringen eine Veränderung des Spektrums geeigneter Rebsorten (vgl. Abbildung 61), sowie ein Anstieg der theoretisch für den Rebbau geeigneten Flächen mit sich.

4.5. GEFAHREN UND EFFEKTE 2060

Die Projektion der Gefahren und Effekte infolge des Klimawandels, unter Berücksichtigung der verschiedenen Szenarien, in das Jahr 2060 stellt eine grosse Herausforderung dar. Viele Naturgefahren sind nämlich nebst den grundlegenden meteorologischen Variablen auch durch Extremereignisse (Niederschläge, Temperatur und Wind) charakterisiert. Die Vorhersage der Häufigkeit und Intensität dieser Ereignisse ist äusserst komplex und weist grosse Unsicherheiten auf. Aus diesem Grund sind die im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Entwicklungen der Gefahren und Effekte des Klimawandels nicht als sichere Vorhersagen zu interpretieren, sondern eher als Schätzungen einer möglichen Entwicklung, die das zukünftige Klima im Zeitraum 2060 mit sich herbeiführt.

Die Häufigkeit oder Intensität der verschiedenen Gefahren/Effekte des Klimawandels hängen primär von drei meteorologischen Variablen ab; der Temperatur, dem Niederschlag und dem Wind. Die verschiedenen Gefahren und Effekte, welche in diesem Kapitel in Abhängigkeit der wichtigsten meteorologischen Variablen diskutiert werden, sind in Abbildung 12 ersichtlich. Die Gefahren umfassen Zeitintervalle von wenigen Stunden (z.B. Hangrutschungen) bis mehrere Jahre (z.B. Auftauen des Permafrostes und Abschmelzen der Gletscher).

Die Entwicklung der Gefahren und Effekte wird in der vorliegenden Studie auf der Basis der Klimaszenarien (CH2011, 2011), der Szenarien der Klimaindikatoren (Zubler, Fischer, Liniger, Croci-Maspoli, Scherrer, & Appenzeller, 2014) und der Bestimmung der Klimasensittivität von Naturgefahren (geo7, 2015) bestimmt. Falls keine Quantifizierung der Gefahren und Effekte möglich ist, z.B. wenn passende Daten fehlen, werden die Entwicklungen mithilfe von Expertenwissen abgeschätzt.

Die Analyse der Sensitivität der Naturgefahren (geo7, 2015) erlaubt es die zukünftige Entwicklung der Naturgefahren in Abhängigkeit der verschiedenen Szenarien herzuleiten.

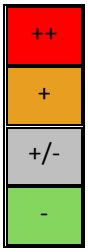
Die Methoden der Analyse basieren auf der Unterteilung in drei Hauptkategorien: Grunddisposition, variable Disposition und auslösender Prozess (geo7, 2015).

Die *Grunddisposition* besteht aus allen Charakteristiken des Systems, welche langfristig konstant bleiben. Sie beschreibt somit die Eigenschaft der Standorte, an welchen die entsprechenden Naturgefahren entstehen. Dazu gehören z.B. die geologischen Eigenschaften eines Standortes.

Die *variable Disposition* zeichnet sich hingegen durch die Eigenschaften eines Standortes aus, welche zeitlich variieren und den Schwellenwert der Auslösung eines Prozesses beeinflussen. Ein Beispiel dafür ist der Wassergehalt des Terrains. Je höher dieser ist, desto eher können sich Massenbewegungen entwickeln.

Der *auslösende Prozess* beinhaltet die meteorologischen Ereignisse, welche die Auslösung eines bestimmten Prozesses bewirken. Ein Beispiel dafür ist ein intensives Niederschlagsereignis, das eine Hangmure auslöst.

In einer ersten Phase werden die zukünftigen Veränderungen der beiden Kategorien variable Disposition und auslösender Prozess auf der Basis der zukünftigen Klimaszenarien analysiert. Die Kategorien werden dann kombiniert, um die zukünftigen Änderungen der Häufigkeit und Intensität der jeweiligen Naturgefahr auszuwerten. Alle Änderungen werden qualitativ ausgewertet indem jeder Variablen einer der folgenden Werte zugeordnet wird:



Diese hergeleiteten Werte werden dann mittels definitiver Schemas kombiniert.

Es gilt allerdings zu erwähnen, dass die von geo7 verwendeten Klimaszenarien (geo7, 2015) nicht jenen des Methodenberichts resp. der vorliegenden Studie entsprechen (vgl. vorangehende Kapitel).

Die im Folgenden ausgeführten Analysen basieren auf der zuvor beschriebenen Methode, welche aber im Unterschied zu geo7 die Szenarien 2060 schwach und stark berücksichtigen.

4.5.1. Veränderung Mitteltemperatur

In Zukunft wird die Mitteltemperatur in jeder Jahreszeit ansteigen. Die unter den beiden Szenarien schwach und stark vorhergesehene Temperaturzunahme für 2060 ist in Kapitel 4.3.1 beschrieben.

Die Indikatoren Heizgradtage, Kühlgradtage, Heiztage und Kühltage (vgl. Kapitel 4.4.3) sind mit den mittleren Tagestemperaturen verknüpft und repräsentativ zur Bestimmung der Auswirkungen im Sektor Energie.

4.5.2. Änderung im Niederschlagsregime

Das jährliche Niederschlagsregime wird sich in Zukunft verändern. So sind ein Anstieg der Niederschläge im Winter und eine Abnahme im Sommer vorhergesehen. Ein Beschrieb der jahreszeitlichen Niederschlagsänderungen auf der Alpensüdseite unter den Szenarien 2060 schwach und stark findet sich im Kapitel 4.3.2.

4.5.3. Starkniederschläge

Starkniederschläge spielen eine fundamentale Rolle bei der Entwicklung der verschiedenen Naturgefahren, darunter z.B. Hochwasser, Rutschungen und Murgänge. Da bei den Klimaszenarien von der ETHZ und der MeteoSchweiz (CH2011, 2011) keine Vorhersagen der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen gemacht wurden, werden die Ergebnisse einer anderen Studie (Rajczak, Pall, & Schär, 2013) beigezogen. Letztere berücksichtigt jedoch nicht Niederschlagsereignisse, welche sich auf einer kleinräumigen Skala ereignen, wie z.B. jene von Gewittern.

Die Ergebnisse dieser Studie für die Alpensüdseite sind in Abbildung 62 ersichtlich. Die projizierten Änderungen der Starkniederschläge basieren auf der täglichen Regenmenge (in mm) in Bezug zu intensiven Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Wiederkehrperioden[5] (2 bis 100 Jahre).

[5] Als Wiederkehrperiode versteht man das Zeitintervall zwischen zwei Niederschlagsereignissen mit einer bestimmten Intensität und Dauer.

Das in der Studie von Rajczak et al. (2013) verwendete Szenario - A1B mittel, 2085 - entspricht nicht den Szenarien der vorliegenden Studie. Die Veränderungen der Starkniederschläge für die beiden Szenarien 2060 schwach (RCP3PD mittel, 2060) und stark (A1B extrem, 2060) müssen somit aus den vorhandenen Resultaten hergeleitet werden.

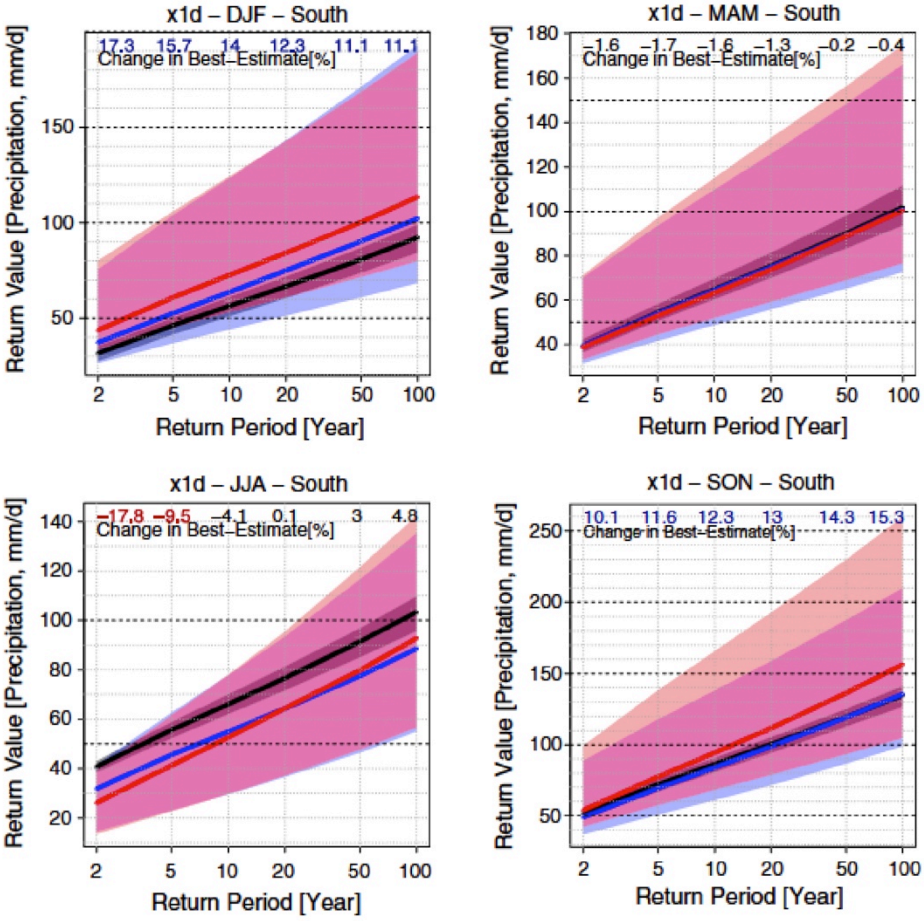


Abbildung 62: ***Die Grafiken zeigen die Wiederkehrwerte der Intensität (mm/Tag) in Funktion der Wiederkehrperiode (Jahre) der Niederschläge für die vier Jahreszeiten auf der Alpensüdseite. Schwarze Kurve: gemessene Mittelwerte der Referenzperiode 1971-1998; blaue Kurve: Referenzperiode 1970-1999; rote Kurve: vorhergesehene Werte für den Zeithorizont 2085 (2070-2099), basiert auf den mittleren Werten des Emissionsszenarien A1B. Die farbigen Flächen stellen Unsicherheitsstreifen der einzelnen Kurven dar. Auf der oberen horizontalen Achse ist die Differenz zwischen dem für 2085 vorgesehenen Wert (rote Kurve) und der Referenzperiode (blaue Kurve)in Prozent dargestellt; Quelle: Rajczak et al. (2013).***

Was das Szenario stark betrifft übernimmt die vorliegende Studie die Resultate von Rajczak et al. (A1B mittel, 2085). Es wird angenommen, dass die für 2085 vorgesehenen Mittelwerte für eine obere Grenze der möglichen Entwicklungen im 2060 repräsentativ sind. Sie eignen sich somit für das Szenario stark im Winter und Frühling. Die Grafiken der Abbildung 62 zeigen, dass auf der Alpensüdseite die Intensität der Starkniederschläge im Winter zunehmen wird. Im Frühling und Sommer sind keine signifikanten Änderungen zu erwarten. Was den Herbst betrifft, müssten gemäss der Definition des Szenarios stark, die maximale Abnahme der mittleren Niederschläge berücksichtigt werden. Für die vorliegende Studie wird auch im Herbst von einem Anstieg der Starkniederschläge ausgegangen, gemäss der Studie von

Rajczak et al. (2013). Auf dieser Grundlage werden die Extremereignisse der Naturgefahren eingeschätzt (vgl. Tabelle 9).

STARK	DJF	MAM	JJA	SON
Starkniederschläge (SN)	+	+/-	+/-	+

Tabelle 9: ***Entwicklung der Starkniederschläge im Szenario stark für 2060 im Vergleich zum Referenzszenario. Die Einschätzungen basieren im Wesentlichen auf der Studie (Rajczak, Pall, & Schär, 2013), (geo7, 2015) e (CH2011, 2011).***

Für das *Szenario schwach* konnte keine Studie gefunden werden, um mögliche Veränderungen der Starkniederschläge passend einzuschätzen. Da es sich beim Szenario schwach um ein optimistisches Szenario handelt, geht die vorliegende Studie davon aus, dass im Vergleich zu heute keine signifikanten Änderungen der Starkniederschläge zu erwarten sind.

SCHWACH	DJF	MAM	JJA	SON
Starkniederschläge (SN)	+/-	+/-	+/-	+/-

Tabelle 10: ***Entwicklung der Starkniederschläge im Szenario schwach für 2060 im Vergleich zum Referenzszenario.***

Die in Tabelle 9 und Tabelle 10 aufgeführten Einschätzungen der Starkniederschläge werden als Basis für die Auswertung der verschiedenen Naturgefahren verwendet. Mithilfe der in Abbildung 62 dargestellten Ergebnisse von Rajczak et al. (2013) ist es zudem möglich, die zukünftigen Veränderungen der Starkniederschläge zu quantifizieren. Dazu wird eine Wiederkehrperiode von 10 Jahren gewählt. Die hergeleiteten Werte sind in Tabelle 11 und Abbildung 63 ersichtlich.

Starkniederschläge (Änderungen in %)	DJF	MAM	JJA	SON
SCHWACH	0	0	0	0
STARK	+15	0	-5	+10

Tabelle 11: ***Prozentuale Änderungen der Niederschlagsintensität unter den Szenarien schwach und stark im Vergleich zum Referenzszenario. Unsicherheit: mittel.***

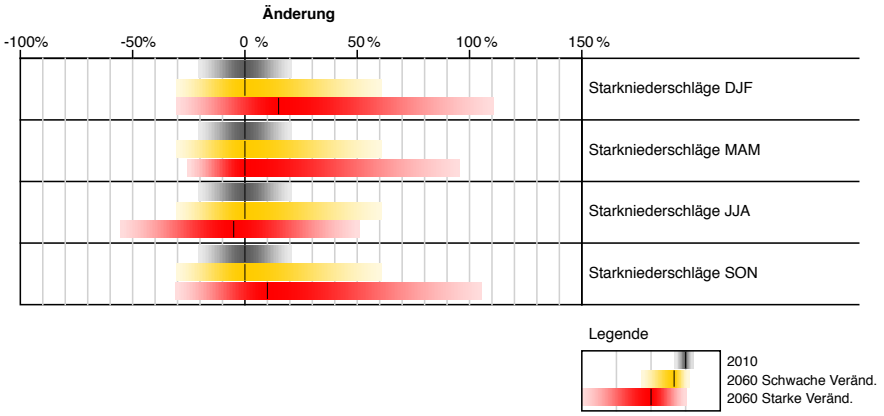


Abbildung 63: ***Grafische Darstellung der vorhergesehenen Änderungen der Intensität der Starkniederschläge für die Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.***

4.5.4. Mure/Erdrutsch/Hangmure

Generell unterscheidet werden zwei Typen von Hangmuren unterschieden: Hangmuren aus steileren Hängen und Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden (geo7, 2015). Erstere kommt im Tessin öfter vor und wird für diese Studie im Detail analysiert. Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden sind demgegenüber seltener. Sie sind auf Gebiete mit Überresten von Rutschungen, mit auftauendem Permafrost oder mit in der kleinen Eiszeit gebildeten Moränen beschränkt. Sie liegen meistens in Gebirgsregionen und sind für die Alpensüdseite weniger bedeutsam. Daher werden sie nur allgemein ausgewertet.

Die meteorologischen Phänomene, welche Hangmuren verursachen, sind vergleichbar mit jenen der flachgründigen Rutschungen. Es wird daher davon ausgegangen, dass die zukünftigen Veränderungen der Hangmuren aus steileren Hängen auch für flachgründige Rutschungen gelten.

Hangmuren aus steileren Hängen

Die Hangmuren dieses Typs gibt es insbesondere an Steilhängen in mittel- bis tiefgelegenen Lagen. Sie bestehen aus einem Gemisch aus Lockergestein, Boden und Vegetation.

Grunddisposition: Die Grunddisposition für Hangmuren ist durch die Lage im Relief und die geologischen Eigenschaften gegeben. Bevorzugte Anrissgebiete sind steile Hänge (> 35 ° Neigung) in denen sich Wasser staut. Weitere Einflussfaktoren sind ausserdem die unterirdischen Strukturen, präferenzielle Fliesswege von Hangwasser, die Korngrösse des Materials etc. (geo7, 2015).

Variable Disposition: Die Höhe des Hangwasserspiegels beeinflusst in hohem Mass die Stabilität der Lockermaterialdecke. Je höher der Hangwasserspiegel ist, desto instabiler wird der Untergrund. Die variable Disposition wird durch zwei Faktoren mitbestimmt:

- Längere Niederschlagsperioden,
- Intensive Schneeschmelze.

Als Indikator für längere Niederschlagsperioden werden in der vorliegenden Studie die jahreszeitlichen Niederschlagsszenarien gewählt. Die Schneeschmelze resp. das anfallende Schmelzwasser wird auf Basis der Klimasensitivität von Naturgefahren (geo7, 2015) geschätzt. Die Höhenklassen, sowie das Verhältnis Regen zu Schnee und die Geschwindigkeit der Schneeschmelze sind von der Temperatur abhängig, welche wiederum auf den Klimaszenarien basiert. Die projizierten Veränderungen für die Länge und die Intensität von Niederschlagsperioden und für die Schneeschmelze werden kombiniert. Dadurch erhält man die gesuchte, pro Jahreszeit infiltrierende Wassermenge. Die entsprechend hergeleiteten Trends finden sich in Tabelle 12 unter dem Szenario schwach und in Tabelle 13 unter dem Szenario stark.

Unter dem Szenario schwach sind für den Winter, Frühling und Herbst keine grossen Änderungen der mittleren Niederschläge zu erwarten, während im Sommer mit einer Abnahme in tiefen und mittleren Höhen zu rechnen ist (vgl. Abbildung 30). Bei der Schneeschmelze sind in tiefen Lagen (unterhalb von 600 m ü. M.) keine Veränderungen zu erwarten. Einzige Ausnahme: Im Frühling liegt aufgrund der höheren Temperaturen weniger Schnee. In mittleren Lagen (600 bis 1’900 m ü. M.) wird die Schneeschmelze früher einsetzen. Dementsprechend ist mit einer intensiveren Schneeschmelze im Winter und einer reduzierten Schneeschmelze

im Frühling zu rechnen. In hohen Lagen (> 1'900 m ü. M.) wird die Schneeschmelze vermehrt vom Sommeranfang zum Frühling hin verschoben. Im Herbst sind keine bedeutenden Änderungen vorhergesehen, da dann die Schneeschmelze bereits abgeschlossen ist.

SCHWACH	DJF			MAM			JJA			SON		
Höhe	R	SS	TWA	R	SS	TWA	R	SS	TWA	R	SS	TWA
< 600	+/-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-
600 - 1900	+/-	+	+	+/-	-	-	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-
> 1900	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+	+/-	-	-	+/-	+/-	+/-

Tabelle 12: ***Veränderung des totalen Wasserangebots unter dem Szenario schwach im Vergleich zum Referenzszenario, aufgelistet nach Höhenklasse und Jahreszeit. R = Regen; SS = Schneeschmelze; TWA = totales Wasserangebot.***

Unter dem Szenario stark werden aufgrund der erwarteten höheren Temperaturen höhere Höhenklassen gewählt. Für alle Höhenklassen entspricht die Entwicklung der Schneeschmelze jener des Szenarios schwach. Die Niederschlagssummen in Form von Regen nehmen im Winter unterhalb von 2'400 m ü. M. zu, zum einen weil das Verhältnis Regen zu Schnee zunimmt und zum anderen weil die Niederschläge zunehmen werden. Oberhalb von 2400 m ü. M. bleiben die Niederschläge hingegen als Schneefall bestehen, nehmen aber ebenfalls zu. Im Frühling ist eine leichte Zunahme der Niederschläge in allen Höhenlagen zu erwarten. Im Sommer und Herbst sieht das Szenario stark hingegen eine generelle Abnahme der Niederschläge vor.

STARK	DJF			MAM			JJA			SON		
Höhe	R	SS	TWA	R	SS	TWA	R	SS	TWA	R	SS	TWA
< 1100	+	+/-	+	(+)	-	-	-	+/-	-	-	+/-	-
1100 - 2400	+	+	++	(+)	-	-	-	+/-	-	-	+/-	-
> 2400	+/-	+/-	+/-	(+)	+	+	-	-	- (-)	-	+/-	-

Tabelle 13: ***Veränderung des totalen Wasserangebots unter dem Szenario stark im Vergleich zum aktuellen in Funktion der Höhe und der Jahreszeit. R = Regen; SS = Schneeschmelze; TWA = totales Wasserangebot.***

In beiden Szenarien ist von einem Anstieg des Wasserangebots in mittleren Lagen im Winter und in hohen Lagen im Frühling auszugehen, verursacht durch die Temperaturzunahme welche die Schneeschmelze beschleunigt, und zumindest im Szenario stark auch durch den zunehmenden Niederschlag. Hingegen kommt es zu einer Abnahme des Wasserangebots in mittleren und tiefen Lagen im Frühling und in hohen Lagen im Sommer. Unter dem Szenario stark ist diese Entwicklung zusätzlich durch den Anstieg der Niederschlagssumme im Winter verstärkt. Im Herbst sieht das Szenario schwach keine relevanten Änderungen vor, während das Szenario stark eine leichte Abnahme aufgrund der geringeren Niederschläge prognostiziert.

Auslösender Prozess: In den meisten Fällen wird eine Hangmure durch ein rasches Ansteigen des Hangwasserspiegels ausgelöst. Auslöser sind demnach primär Starknieder-

schläge. Als Indikator für die zukünftigen Änderungen der Starkniederschläge dienen die Ergebnisse der Tabelle 9 und Tabelle 10.

Die Kombination der vorgesehenen Änderungen des infiltrierenden Wassers (variable Disposition) und der Starkniederschläge (auslösender Prozess) erlaubt es die zukünftige Häufigkeit von Hangmuren aus steileren Hängen als Funktion des gewählten Szenarios, der Höhenlage und der Jahreszeit zu evaluieren. Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle 14 unter dem Szenario schwach und in Tabelle 15 unter dem Szenario stark ersichtlich.

SCHWACH	DJF			MAM			JJA			SON		
Höhe	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.
< 600	+/-	+/-	+/-	-	+/-	-	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-
600 - 1900	+	+/-	+	-	+/-	-	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-
> 1900	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-

Tabelle 14: ***Veränderung der Häufigkeit von Hangmuren aus steilen Hängen unter dem Szenario schwach im Vergleich zu ihrer Häufigkeit unter dem Referenzszenario, aufgelistet nach Höhenlage und Jahreszeit. TWA = totales Wasserangebot; SN = Starkniederschläge; Häuf. = Häufigkeit .***

STARK	DJF			MAM			JJA			SON		
Höhe	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.
< 1100	+	+	++	-	+/-	-	-	+/-	-	-	+	(?)
1100 - 2400	++	+	++	-	+/-	-	-	+/-	-	-	+	(?)
> 2400	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+	- (-)	+/-	- (-)	-	+	(?)

Tabelle 15: ***Variation der Häufigkeit von Hangmuren aus steilen Hängen unter dem Szenario stark in Bezug zum Referenzszenario, in Funktion der Höhenlage und der Jahreszeit. TWA = totales Wasserangebot; SN = Starkniederschläge; Häuf. = Häufigkeit.***

Die Analyse erlaubt Vorhersagen zur Häufigkeit der Hangmuren (mit einer gewissen Intensität), jedoch nicht über die Dimensionen ihrer Intensität.

Die Resultate der Tabellen 14 und 15 zeigen generell eine Tendenz in Richtung Erhöhung der Häufigkeit von Hangmuren aus steilen Hängen im Winter und eine Abnahme im Sommer und Frühling. Die Häufigkeit der Hangmuren unter dem Szenario schwach ist durch den Wasserfluss im Untergrund bestimmt, da in diesem Szenario nicht von einer Veränderung der Starkniederschläge ausgegangen wird. Im Szenario stark ist der höhere Wasserfluss im Untergrund im Winter von einer Zunahme der Niederschläge begleitet. Im Winter ist somit unterhalb von 2'400 m ü. M. eine starke Zunahme von Hangmuren aus Steilhängen zu erwarten. Ein Anstieg ist auch in grossen Höhen im Frühling zu erwarten, während in tieferen Lagen im Sommer eine Abnahme des Prozesses wahrscheinlich ist. Dies aufgrund des geringeren Wassergehalts infolge der abnehmenden Niederschläge und der früheren Schneeschmelze.

Die Prognosen für den Herbst - der bisher als kritischste Jahreszeit für Hangmuren galt (Sezione forestale cantonale, 2015) – zeigen unter dem Szenario schwach keine bedeutenden Veränderungen. Jene des Szenarios stark sind etwas problematischer, da es schwierig zu beurteilen ist, ob der Anstieg der Starkniederschläge oder die Abnahme des totalen Wasserangebots entscheidender ist. Für die vorliegende Studie wird deshalb unter dem Szenario stark eine Sensitivitätsanalyse (Veränderung der mittleren Herbstniederschläge) durchgeführt. Die Wahl des negativen Extremwerts für Niederschläge (A1B (-)) in der für Hangmuren kritischsten Jahreszeit erweist sich als ungeeignet, um die Auswirkungen des Szenario stark zu beschreiben. In der Tabelle 16 findet sich die zukünftige Tendenz der Änderungen der Häufigkeit von Hangmuren im Herbst, in Funktion der mittleren herbstlichen Niederschläge.

Sensitivitätsanalyse Herbst	Mittl. Niederschl. SON: -			Mittl. Niederschl. SON: +/-			Mittl. Niederschl. SON: +		
Höhe	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.	TWA	SN	Häuf.
< 1100	-	+	(?)	+/-	+	+	+	+	++
1100 - 2400	-	+	(?)	+/-	+	+	+	+	++
> 2400	-	+	(?)	+/-	+	+	+	+	++

Tabelle 16: ***Sensitivitätsanalyse der Häufigkeit von Hangmuren aus steilen Hängen im Herbst unter dem Szenario stark in Funktion der mittleren Herbstniederschläge: - = negativer Extremwert des Szenarios A1B; +/- = Mittelwert des Szenarios A1B; + = positiver Extremwert des Szenarios A1B.***

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass bei der Wahl des Mittelwerts oder des positiven Extremwerts des Szenarios A1B eine Zunahme von Hangmuren im Herbst und somit auch jährlich festzustellen ist. Unter dem Szenario stark kann somit davon ausgegangen werden, dass die jährliche Häufigkeit von Hangmuren aus Steilhängen in Zukunft zunehmen wird.

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden

Dieser Typ von Hangmuren ist wie bereits beschrieben primär im Hochgebirge zu beobachten. Dabei ist die **variable Disposition** dieses Typs von Hangmuren stark vom Zustand des Permafrosts in Schutthalden geprägt. Dessen Rückgang führt zu einer Destabilisierung des Schutts und dadurch nimmt das Risiko für Hangmuren zu. Wie bei den Hangmuren aus steileren Hängen spielt aber auch hier das Wasser eine wichtige Rolle. Der **auslösende Prozess** ist meistens ein Starkniederschlag mittlerer Dauer. Die nötige Wassermenge, um Schutthalden zu mobilisieren, ist dabei grösser als bei Hangmuren aus steileren Hängen.

Unter dem Szenario stark wird die Häufigkeit von Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden in hohen Lagen aller Voraussicht nach tendenziell zunehmen, und zwar aufgrund des auftauenden Permafrost (vgl. Kapitel 4.5.15), der Zunahme des Wasserabflusses im Frühling sowie der Starkniederschläge im Herbst. Unter dem Szenario schwach wird hingegen damit gerechnet, dass die Hangmuren nur leicht zunehmen.

Hangmuren: quantitative Analyse von historischen Ereignissen

Die quantitative Analyse der Häufigkeit von Hangmuren (sowohl in steileren Hängen als auch in unkonsolidierten Schutthalden) basiert auf einer Studie, welche in Zusammenarbeit mit dem Institut IDSIA der Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) durchgeführt wurde (vgl. Anhang A2).

Der nachfolgend beschriebene Ansatz unterscheidet sich deutlich von den oben beschriebenen Methoden. Er kann in drei Phasen aufgeteilt werden:

1. In einer ersten Phase wurden in einer Datenbank die geographische Lage und die Eigenschaften beobachteter Hangmuren im gesamten Tessin erfasst (251 Ereignisse im Zeitraum 2000 bis 2014).
   Jedem Ereignis wurden eine Referenzregion und die fünf nächstgelegenen Klimamessstationen zugewiesen. Pro Murgangereignis wurden die meteorologischen Bedingungen zeitlich so gut als möglich eingegrenzt, insbesondere bezüglich Intensität und Dauer des Niederschlags (minimal 1 h, maximal 6 h). Für jede mit dem Ereignis verbundene Messstation wurde ein potentielles Auslöseereignis bestimmt, das möglicherweise mit dem Hangmurenereignis in Verbindung steht.

2. Basierend auf den Daten der Klima-Messstationen wurden in einer zweiten Phase die Jahreskurven[6] der Niederschlagsintensität, -dauer und -häufigkeit (IDH) berechnet. Diese Kurven repräsentieren die mittlere Niederschlagsintensität (mit bestimmter Wiederkehrperiode) in Funktion ihrer Dauer (1 bis 6 Stunden).
   Auf der Grundlage des Emissionsszenarios A1B und unter Anwendung des globalen Modells ECHAM5 und des regionalen Modells REMO (CH2011, 2011) wurde die Entwicklung der IDH-Kurven für jedes Jahrzehnt bis 2060 berechnet. Dieser Ansatz unterscheidet sich von jenem der Szenarien CH2011, welche das Resultat der Anwendung von zahlreichen Klimaszenarien sind (statt nur 1). Die IDH-Kurven des Szenarios RCP3PD wurden aus diesen Kurven und auf der Basis der Veränderung der jährlichen Niederschlagssummen abgeleitet.

3. Die in Phase 1 erläuterten historischen Daten wurden schliesslich mit den IDH-Kurven und den für das Jahr 2060 prognostizierten Entwicklungen verglichen. Letztere basieren auf den Szenarien RC3PD und A1B. Diese Analyse erlaubte es, die Wiederkehrperioden vergangener Ereignisse (meteorologische Auslöser von Hangmuren) für heute und für 2060 zu quantifizieren.

In Abbildung 64 sind die IDH-Kurven aufgezeichnet. Zudem sind die verschiedenen meteorologischen Ereignisse ersichtlich, welche mit den Hangmuren in Verbindung gebracht werden können.

[6] Die verfügbaren Daten erlauben es nicht, eine jahreszeitliche Auswertung durchzuführen.

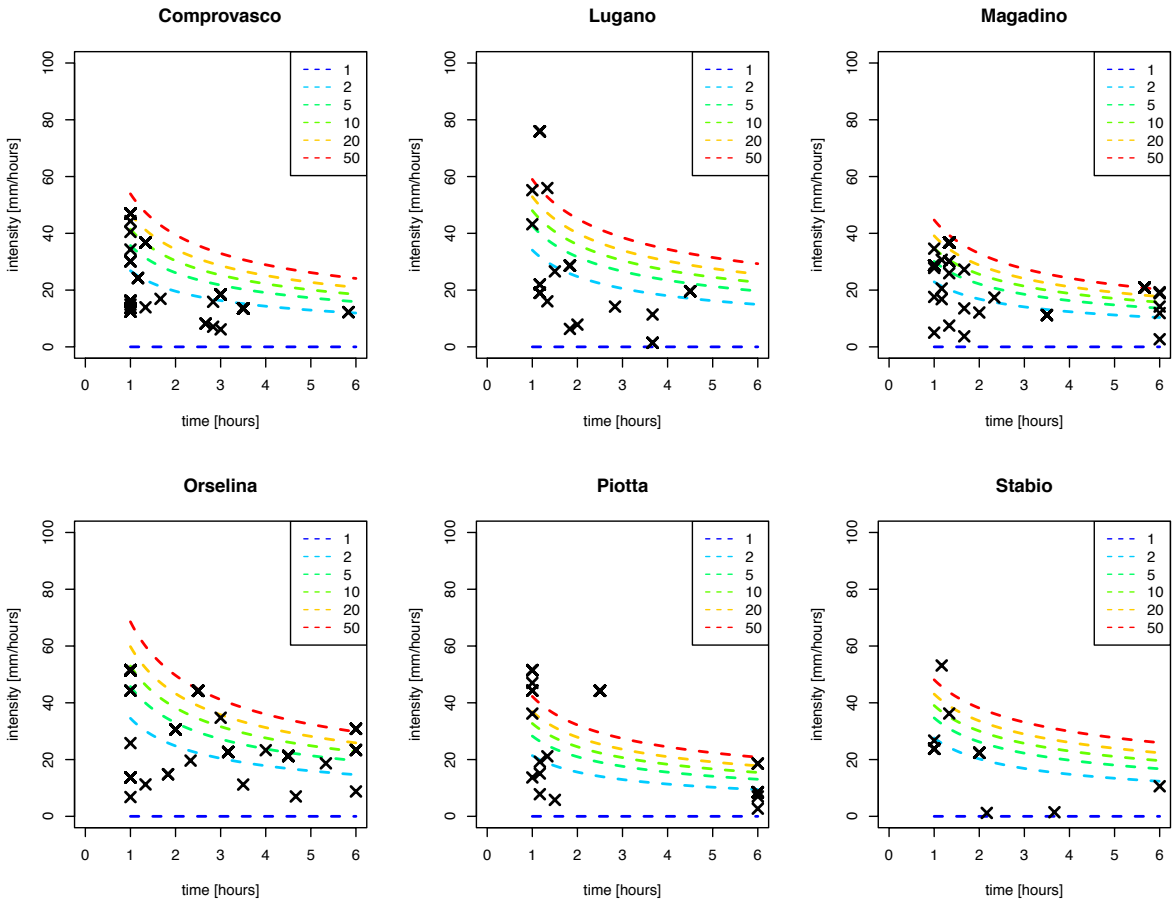


Abbildung 64: ***IDH-Kurven unter dem Referenzszenario an verschiedenen Messstationen. Die Nummern in der Legende zeigen die Wiederkehrperioden (in Jahren) auf. Die schwarzen Kreuze stellen die von der jeweiligen Messstation gemessenen meteorologischen Ereignisse dar, welche wahrscheinlich in der nahen Umgebung einen Murgang ausgelöst haben.***

Analog zu Abbildung 64 wurden auch die IDH-Kurven unter dem Szenario RC3PD und dem Szenario A1B aufgezeichnet. Die Ergebnisse unter dem Szenario A1B sind in Abbildung 65 ersichtlich.

Mit Ausnahme von Comprovasco, das eine spezielle Situation darstellt[7], zeigen die IDH-Kurven klar höhere Werte auf, was auf eine zunehmende Häufigkeit von Starkniederschlägen hindeutet. In Stabio, beispielsweise, weist das stärkste Niederschlagsereignis (ca. 53 mm/h während 70 Min) heute eine Wiederkehrperiode von mehr als 50 Jahren auf. Im Jahr 2060 wird das Ereignis voraussichtlich eine Wiederkehrperiode zwischen 10 und 20 Jahren aufweisen (vgl. Abbildung 65).

[7] Comprovasco weist tiefere Werte der IDH-Kurven als die restlichen Stationen auf. Diese Anomalie beruht auf der Tatsache, dass die historische Datenreihe in dieser Messstation kürzer ist als bei den übrigen. Auch liegt die Station in einem engen Tal, was möglicherweise die Modellierung von IDH-Werten erschwert hat. Wichtig zu erwähnen ist ausserdem die Tatsache, dass die Vorhersage von Niederschlägen mittels Klimamodellen generell mit grossen Unsicherheiten verbunden ist.

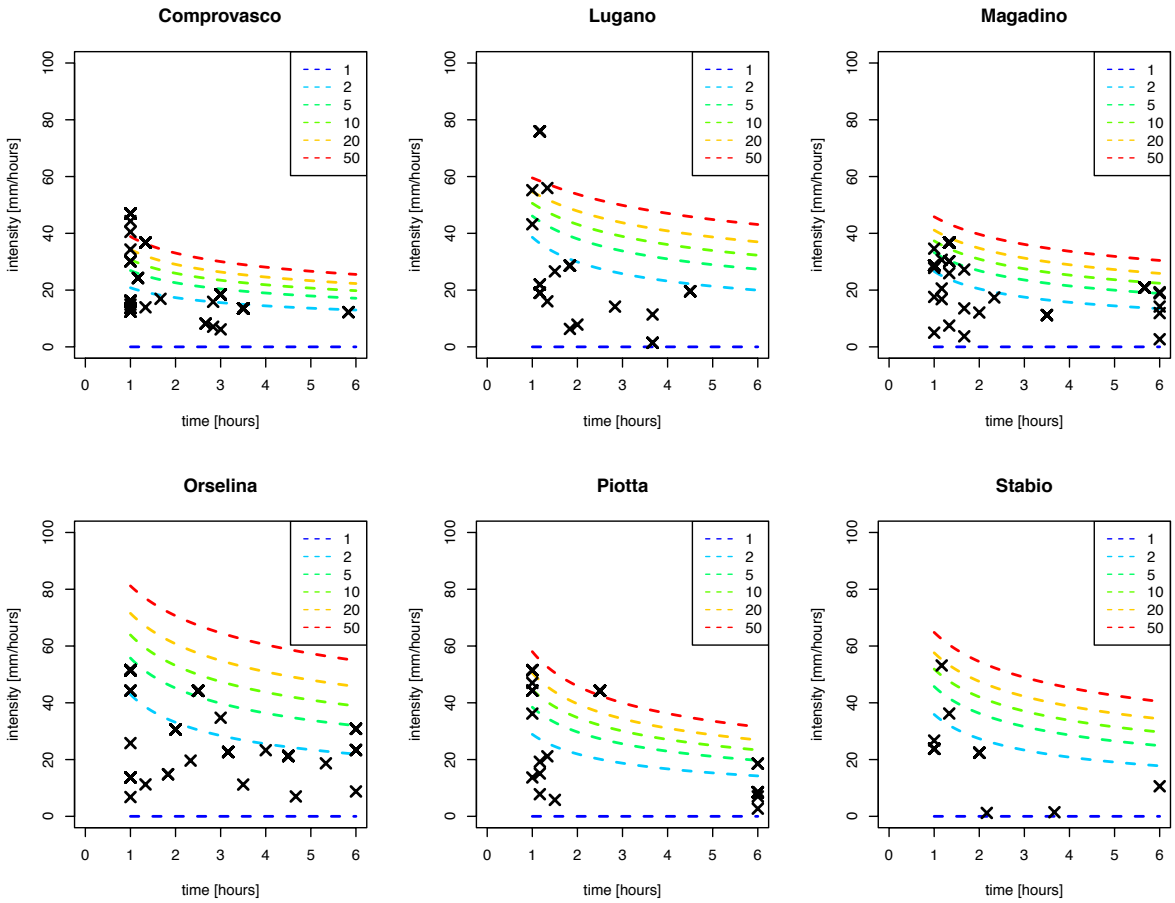


Abbildung 65: ***IDH-Kurven unter dem Szenario A1B für das Jahr 2060 an verschiedenen Messstationen im Kanton. Die Nummern in der Legende zeigen die Wiederkehrperioden (in Jahren) auf. Die schwarzen Kreuze stellen die von der jeweiligen Messstation gemessenen meteorologischen Ereignisse dar, welche wahrscheinlich in der nahen Umgebung einen Murgang ausgelöst haben.***

Unter dem Szenario RC3PD sind dieselben Tendenzen der IDH-Kurven feststellbar, jedoch weniger ausgeprägt, wie unter dem Szenario A1B.

Die meteorologischen Ereignisse, welche als Ursache von Hangmuren identifiziert wurden, weisen für das Jahr 2060 eine zunehmende Tendenz auf. Um diese Entwicklung quantitativ zu beschreiben, wurden die Verteilungen der Ereignisse in Funktion ihrer Wiederkehrperiode unter dem Referenzszenario, dem Szenario RC3PD und dem Szenario A1B untereinander verglichen (vgl. Abbildung 66). Die Analyse beschränkt sich auf die Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von weniger als 10 Jahren. Die für die Studie der vergangenen Hangmuren-Ereignisse berücksichtigte Zeitspanne (14 Jahre) ist in der Tat zu kurz um eine Ereignisanalyse mit einer grösseren Wiederkehrperiode zu erlauben.

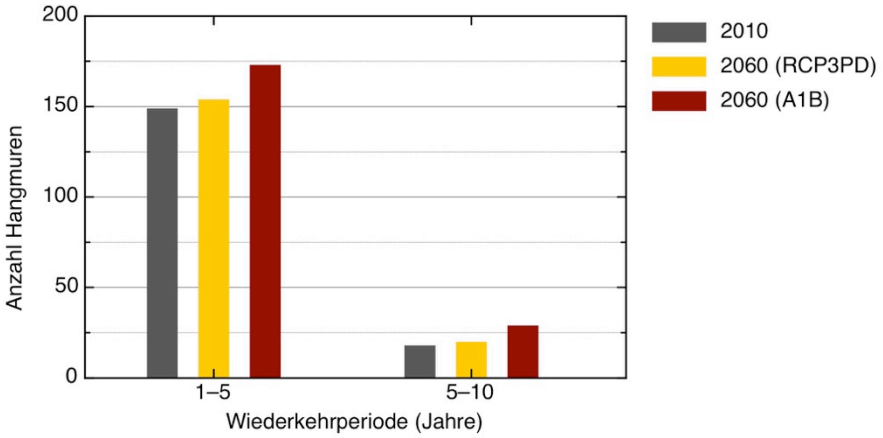


Abbildung 66: ***Verteilung der meteorologischen Ereignisse, welche als Ursache der Auslösung von Hangmuren identifiziert wurden, in Funktion der Wiederkehrperiode unter dem Referenzszenario (2010) und den Szenarien RC3PD und A1B.***

Generell weisen die Resultate eine Zunahme der Hangmuren (mit Wiederkehrperioden unter 10 Jahren) auf. Unter dem Szenario A1B nimmt die Häufigkeit von Hangmuren mit einer Wiederkehrperiode von 1 bis 5 Jahren um 11 % zu. Jene mit Wiederkehrperioden von 5 bis 10 Jahren gar um 60 %.

Häufigkeit von Murgängen (Änderung %)	Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre	Wiederkehrperiode > 5 Jahre
SCHWACH	0	+10
STARK	+20	+70

Tabelle 17: ***Voraussichtliche prozentuale Änderungen der Häufigkeit von Hangmuren für die Szenarien schwach und stark in Bezug auf das Referenzszenario. Man unterscheidet zwischen Normereignissen (Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre) und seltenen Ereignissen (Wiederkehrperiode > 5 Jahre). Unsicherheit: mittel.***

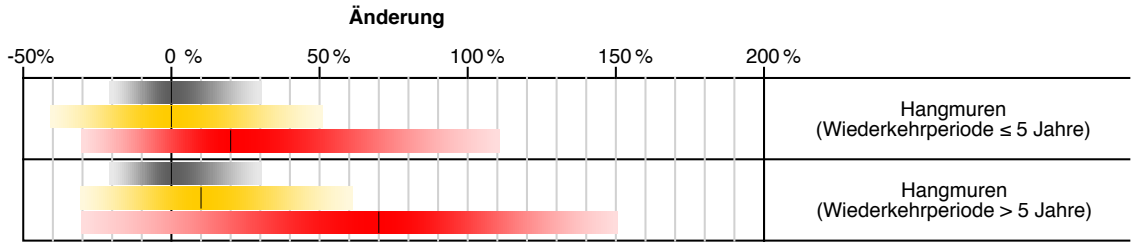


Abbildung 67: ***Grafische Darstellung der vorhergesehenen Änderungen der Häufigkeit von Hangmuren bei den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug auf das Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.***

Basierend auf diesen Daten rechnet die vorliegende Studie unter dem Szenario stark (A1B extrem) mit einer Zunahme von 20 % (Wiederkehrperiode 1 bis 5 Jahre) respektive 70 % (Wiederkehrperiode 5 bis10 Jahre). Dieselbe Zunahme (70 %) wird für Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von mehr als 10 Jahren angenommen. Unter dem Szenario schwach (RCP3PD mittel) ist hingegen mit einer weniger markanten Zunahme zu rechnen. Bei Ereig-

nissen mit einer Wiederkehrperiode von weniger als 5 Jahren sind keine Änderungen und für jene von mehr als 5 Jahren eine leichte Zunahme von 10 % zu verzeichnen.

4.5.5. Reduktion der Schneedecke/Abschmelzen der Gletscher

Die Schneedecke und die Gletscher sind wichtige temporäre oder längerfristige Wasserspeicher. Änderungen in ihrer Verteilung und ihrer Menge oder Masse haben Folgen für grundlegende hydrologische Gegebenheiten, für die Wasserverfügbarkeit oder die Lawinengefahr.

Reduktion der Schneedecke

Die Zunahme der Mitteltemperatur (vgl. Kapitel 5.5.1) führt einerseits zu einem Rückgang der Anzahl Tage mit Schneebedeckung und andererseits zu einer reduzierten Mächtigkeit der Schneedecke. In San Bernardino beispielsweise wurde eine Abnahme der Tage mit Schneebedeckung um durchschnittlich ca. 15 % zwischen 1979 und 2000 festgestellt (Abbildung 24).

Für das Jahr 2060 ist bei beiden Szenarien mit einer geringeren Mächtigkeit der Schneedecke und einer reduzierten Anzahl Tage mit Schneebedeckung zu rechnen. Die Änderungen dieser Parameter basieren auf der Klimasensitivität von Naturgefahren (geo7, 2015) und sind in Tabelle 18 ersichtlich.

Schneedecke (Änderung in %)	Maximale Mächtigkeit		Dauer der Periode mit Schneebedeckung	
	1500-2500	> 2500	1500-2500	> 2500
SCHWACH	-10	0	-10	-5
STARK	-40	0	-20	-10

*Tabelle 18: **Schätzung der prozentualen Änderungen der maximalen Mächtigkeit der Schneedecke im Winter und der Dauer der Periode mit Schneebedeckung in Funktion der Höhenlage (1500-2'500 m ü.M und > 2'500 m ü. M.).***

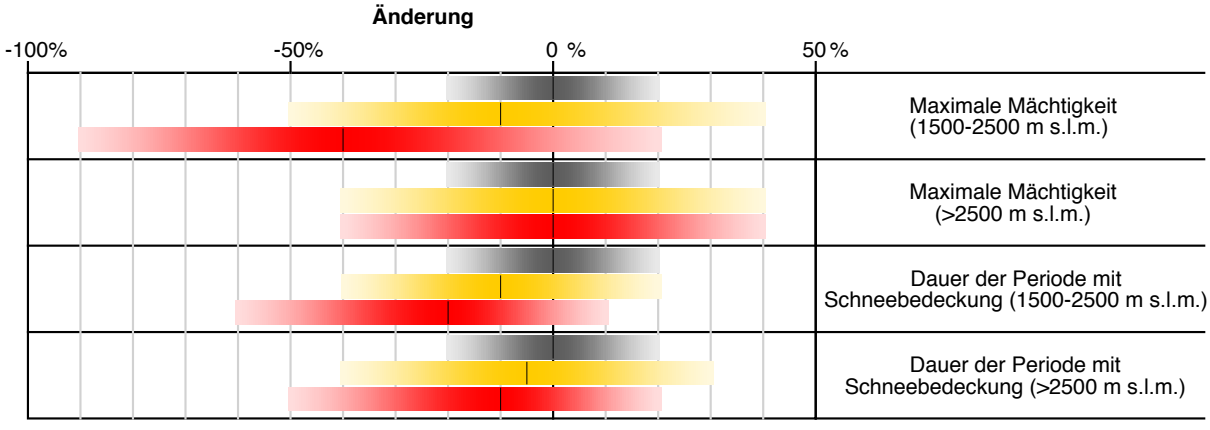


*Abbildung 68: **Grafische Darstellung der maximalen Schneedeckenmächtigkeit und der Dauer der Periode mit Schneebedeckung für die Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für alle Szenarios werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.***

In mittleren Lagen (1500 bis 2500 m ü. M.) ist eine bedeutende Abnahme der Schneedeckenmächtigkeit zu erwarten. In höheren Lagen werden hingegen in beiden Szenarien keine

signifikanten Veränderungen erwartet (unter dem Szenario stark wird die Abnahme der Schneebedeckung aufgrund höherer Temperaturen von der Zunahme der mittleren winterlichen Niederschläge kompensiert). Was die Dauer der Schneebedeckung betrifft, ist eine Abnahme in allen Höhenlagen von rund 20 Tagen (Szenario schwach), resp. 40 Tagen (Szenario stark) zu erwarten.

Abschmelzen der Gletscher

Zwischen 1850 und heute haben die Gletscher der Schweiz rund 40 % ihrer Oberfläche und 60 % ihres Volumens verloren (Corti, Kappenberger, & Bauder, 2006). Die in beiden Klimaszenarien vorgesehene Temperaturerhöhung wird eine weitere Reduktion herbeiführen. Die kleinen Gletscher werden wohl allmählich verschwinden. Die geschätzte Abnahme der Oberflächen und Volumina der Tessiner Gletscher findet sich für beide Szenarien in Tabelle 19. Sie basieren auf den Resultaten der Studie von Linsbauer et al., 2013. (Linsbauer, Paul, Machguth, & Haeberli, 2013).

Abschmelzen Gletscher (Änderung in %)	Oberfläche	Volumen
SCHWACH	-30	-40
STARK	-50	-70

Tabelle 19: Schätzung der voraussichtlichen Änderungen der Oberfläche und Voumina der Tessiner-Gletscher in Bezug auf die Szenarien schwach und stark. Unsicherheit: gering.

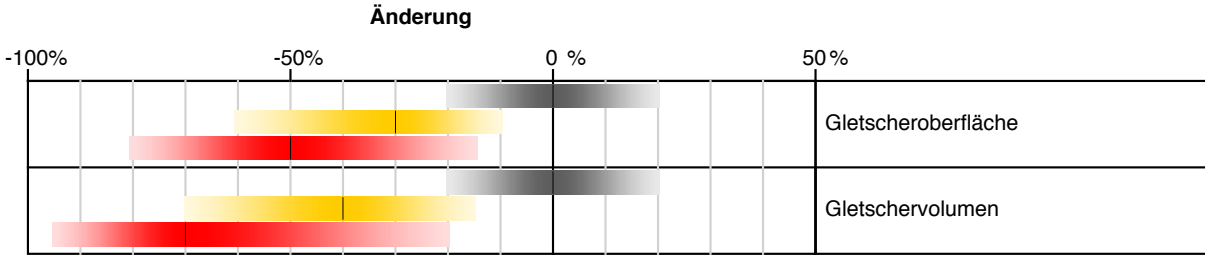


Abbildung 69: Grafische Darstellung der vorhergesehenen Änderungen der Gletscheroberfläche und -volumen für die Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.

4.5.6. Starkschneefälle

Starkschneefälle hängen primär von zwei Faktoren ab: einerseits von der Intensität der Niederschläge und andererseits von der Temperatur, welche die Art der Niederschläge (Regen oder Schnee) bestimmt.

Generell führt die Zunahme der Mitteltemperatur zu einer Reduktion der Tage mit Neuschnee und zwar in allen Höhenlagen, wie in Abbildung 70 dargestellt. In tiefen Lagen betrifft der Rückgang primär den Winter und in höheren Lagen den Frühling und Herbst. Die Tage mit Trockenschnee weisen zudem einen Rückgang in allen Höhenlagen auf, jene mit Nassschnee nehmen in tiefen Lagen ab und oberhalb von 2'000 m ü. M. zu.

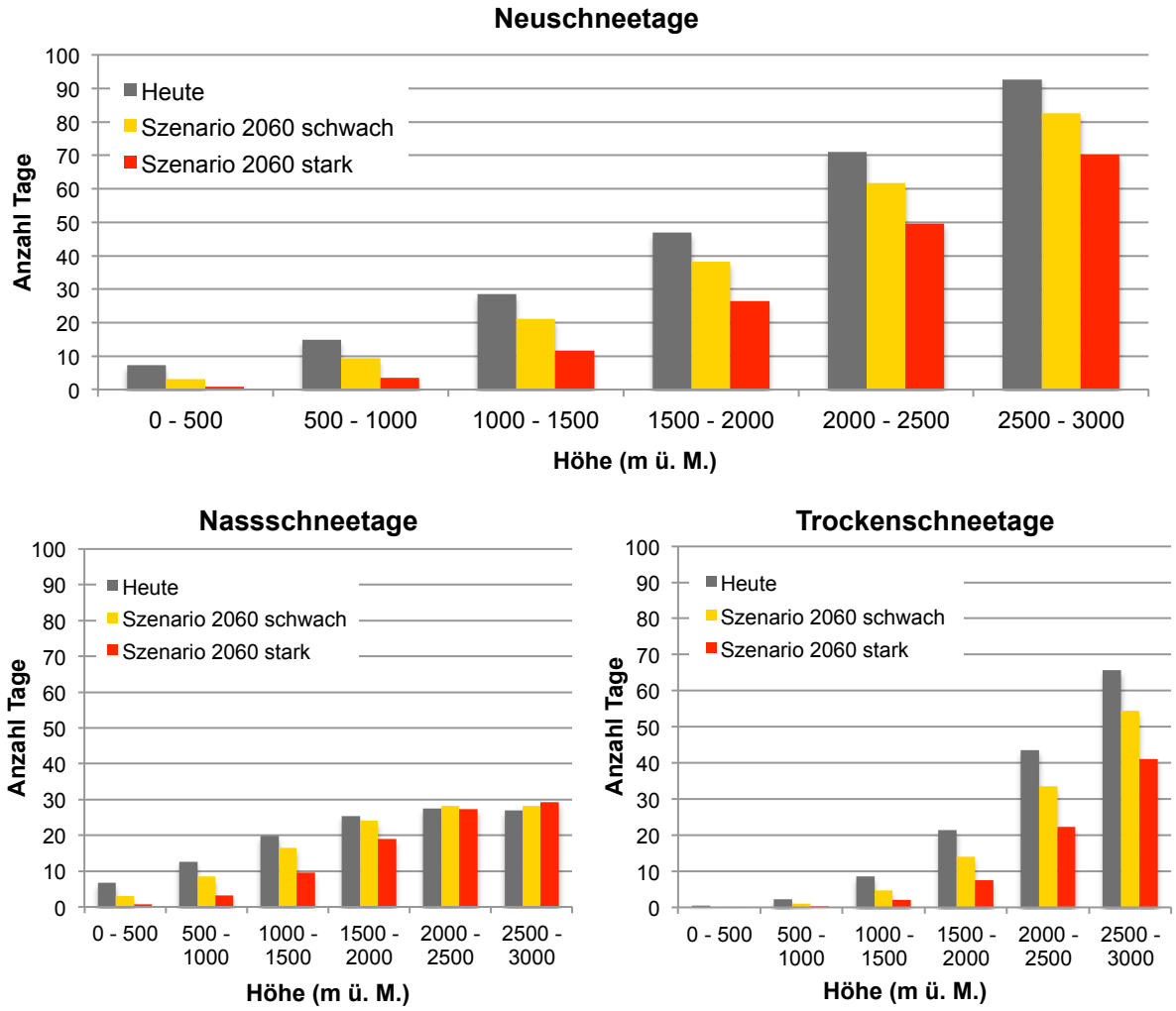


Abbildung 70: ***Anzahl Neuschneetage (obere Grafik), Nassschneetage (Grafik unten links), Trockenschneetage (unten rechts) unter dem Referenzszenario und den Szenarien 2060 schwach und stark in Bezug zur Höhenlage.***

Die Veränderung des Regimes von Starkschneefällen ist besonders für die Einschätzung der zukünftigen Lawinenverteilung relevant. Da die Lawinen hauptsächlich im Winter losreissen, wird nachfolgend auf die Änderungen der winterlichen Starkschneefälle eingegangen.

Grundlage für ihre Einschätzung sind die Ergebnisse aus Kapitel 4.5.3. Während unter dem Szenario schwach keine bedeutenden Änderungen zu erwarten sind, wird unter dem Szenario stark angenommen, dass die Starkniederschläge im Herbst und Winter zunehmen und im Frühjahr nicht ändern werden. Aufgrund der Zunahme der Mitteltemperatur wird die Schneefallgrenze ansteigen, was in tiefen Lagen zu einem Rückgang der Starkschneefälle führt.

Unter dem Szenario schwach werden die Änderungen einzig auf die zunehmende Mitteltemperatur zurückgeführt. Die Niederschlagssummen und die Häufigkeit von Starkniederschlägen bleiben in etwa gleich. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass unterhalb von 1’900 m ü. M. die winterlichen Starkschneefälle abnehmen werden. Oberhalb dieser Höhe bleibt die Situation im Vergleich zu heute unverändert, da dort im Winter die Niederschläge noch zu einem grossen Teil in Form von Schnee anfallen werden.

SCHWACH	< 1900	1900-3200	> 3200
Winterliche Starkschneefälle	-	+/-	+/-

Tabelle 20: Voraussichtliche Tendenzen der Häufigkeit von winterlichen Starkschneefällen in Abhängigkeit der Höhenlage (in m ü. M.) unter dem Szenario schwach 2060 in Bezug zum Referenzszenario.

Unter dem Szenario stark wird angenommen, dass aufgrund der starken Zunahme der Mitteltemperatur die Starkschneefälle in tiefen Lagen abnehmen werden. In höheren Lagen (> 1'900 m ü. M.) wird im Winter das Verhältnis Regen zu Schnee zwar leicht zunehmen, es wird aber angenommen, dass die Starkschneefälle dominant sein werden. Oberhalb von 3'200 m ü. M. wird die Gesamtheit der Niederschläge weiterhin in Form von Schnee anfallen und somit wird es zu einem Anstieg der Starkschneefälle kommen.

STARK	< 1900	1900-3200	>3200
Winterliche Starkschneefälle	-	+	+(+)

Tabelle 21: Voraussichtliche Tendenzen der Häufigkeit von winterlichen Starkschneefällen in Abhängigkeit der Höhenlage (in m ü. M.) unter dem Szenario stark 2060 in Bezug zum Referenzszenario.

Häufigkeit von winterlichen Starkschneefällen (Änderung %)	< 1900	1900-3200	>3200
SCHWACH	-20	0	0
STARK	-40	+10	+15

Tabelle 22: Quantitative Schätzung der zukünftigen Änderungen der Häufigkeit von winterlichen Starkschneefällen für die Szenarios schwach und stark 2060. Unsicherheit: mittel.

Die Tendenzen in Tabelle 21 sind in Tabelle 22 quantifiziert. Die Abnahme der winterlichen Starkschneefälle in tieferen Lagen (< 1'900 m ü. M.) wurde auf der Basis der Abnahme der Tage mit Neuschnee auf 1'500 m ü. M. beurteilt. Die Zunahme in höheren Lagen (> 1'900 m ü. M.) basiert hingegen auf der prognostizierten Zunahme der Starkniederschläge (vgl. Tabelle 11).

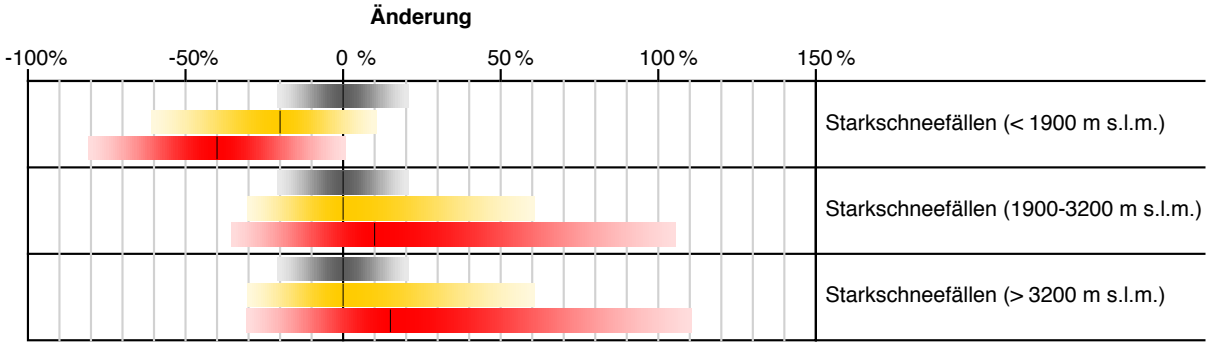


Abbildung 71: Grafische Darstellung der vorhergesehenen Änderungen der Häufigkeit von Starkschneefällen für die Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.

4.5.7. Schneelawinen

Bei Schneelawinen handelt es sich um eine Naturgefahr, die primär im Gebirge droht und je nach ihrer Dimension oder der Steilheit des Geländes auch mittlere oder sogar tiefe Lagen erreicht.

Grunddisposition: Die Grunddisposition für die Entstehung von Lawinen hängt in erster Linie von der Morphologie des Terrains ab. Es braucht genügend steile Hänge (ungefähr zwischen 28°und 60°) und das Anrissgebiet weist in der Regel eine minimale Fläche (> 5000 m^2) und eine minimale Hanglänge (> 50 m) auf.

Die Lawinen werden in zwei unterschiedliche Typen unterteilt: Trockenschnee- und Nassschneelawinen. Dadurch lassen sich die variable Disposition und der auslösende Prozess auswerten.

Trockenschneelawinen

Variable Disposition: Die variable Disposition von Trockenschneelawinen wird von der Mächtigkeit und der Stratifizierung der Schneedecke bestimmt. Grosse Neuschneemengen, Perioden mit starkem Wind sowie instabile Schneeschichten sind Faktoren, die die Disposition für die Entstehung von Trockenschneelawinen erhöhen.

Auslösender Prozess: Der spontane Anriss von Trockenschneelawinen wird in der Regel von einer Zunahme der Last auf der Schneedecke verursacht. Die Last kann durch Starkschneefälle oder Triebschneeansammlungen erhöht werden. Daten zeigen, dass grosse Lawinen oft nach Starkschneefällen von einer Dauer von drei oder mehr Tagen auftreten. Trockenschneelawinen werden meistens im Hochwinter oder anfangs Frühling beobachtet.

Eine Beurteilung der zukünftigen Entwicklung aller Effekte, welche die Bildung von Trockenschneelawinen beeinflussen, in Abhängigkeit der Szenarien, erweist sich als zu komplex. In dieser Studie wird deshalb einzig auf die Variationen der Neuschneemengen und der Häufigkeit von Starkschneefällen eingegangen, welche auf den Änderungen der winterlichen Starkschneefälle basieren (vgl. Kapitel 4.5.6).

Zusätzlich werden die Lawinen nach ihrem Anrissvolumen unterschieden. Es wird dabei vermutet, dass die Zunahme von Neuschnee geringere Auswirkungen auf die Lawinen mit einem kleinen Anrissvolumen haben. Demgegenüber können Lawinen mit einem grossen Anrissvolumen um ein Vielfaches mehr Schnee mobilisieren. In Tabelle 23 und Tabelle 24 finden sich die Schätzungen der zukünftigen Entwicklung der Frequenz und Dimension der Trockenschneelawinen in Funktion der Höhenlage und des Anrissvolumens unter den beiden Klimaszenarien schwach und stark.

Unter dem Szenario schwach ist unterhalb von 1’900 m ü. M. eine Abnahme der Häufigkeit und Dimension von Trockenschneelawinen zu erwarten, da dort in Zukunft weniger Schneeliegen wird (vgl. Kapitel 4.5.5). Oberhalb dieses Niveaus sind keine signifikanten Veränderungen zu erwarten, da von keinen grossen Änderungen im Regime der Starkschneefälle ausgegangen wird.

Auch unter dem Szenario stark ist ein Rückgang der Trockenschneelawinen unterhalb von 1’900 m ü. M. aufgrund der Temperaturzunahme höchstwahrscheinlich. In höheren Lagen wird angenommen, dass zunehmende Starkschneefälle zu mehr und grösseren Trocken-

schneelawinen führen. Insbesondere werden deutlich mehr Lawinen mit einem grossen Anrissvolumen erwartet.

SCHWACH	Anrissvolumen	Häufigkeit Stark-schneefälle	Häufigkeit Trocken-schneelawinen	Dimension Trocken-schneelawinen
< 1900	klein	-	-	-
< 1900	mittel	-	-	-
< 1900	gross	-	-	-
1900 - 3200	klein	+/-	+/-	+/-
1900 - 3200	mittel	+/-	+/-	+/-
1900 - 3200	gross	+/-	+/-	+/-
> 3200	klein	+/-	+/-	+/-
> 3200	mittel	+/-	+/-	+/-
> 3200	gross	+/-	+/-	+/-

Tabelle 23: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit und Grösse der Trockenschneelawinen in Funktion der Höhenlage und des Anrissvolumens unter dem Szenario schwach auf der Alpensüdseite.***

STARK	Anrissvolumen	Häufigkeit Stark-schneefälle	Häufigkeit Trocken-schneelawinen	Dimension Trocken-schneelawinen
< 1900	klein	-	-	-
< 1900	mittel	-	-	-
< 1900	gross	-	-	-
1900 - 3200	klein	+	+/-	+/-
1900 - 3200	mittel	+	+	+
1900 - 3200	gross	+	+	++
> 3200	klein	+(+)	+/-	+/-
> 3200	mittel	+(+)	+(+)	+(+)
> 3200	gross	+(+)	+(+)	++

Tabelle 24: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit und Dimension der Trockenschneelawinen in Funktion der Höhenlage und des Anrissvolumens unter dem Szenario stark auf der Alpensüdseite.***

Nassschneelawinen

Variable Disposition: Parameter, welche die variable Disposition von Nassschneelawinen beeinflussen, sind z.B. der Wassergehalt der Schneedecke sowie deren Höhe und Struktur.

Auslösender Prozess: Nassschneelawinen können entstehen, wenn der Wassergehalt der Schneedecke rasch ansteigt, etwa durch hohe Temperaturen oder Regen. Dies reduziert ihre Stabilität. Oft rutscht dabei die gesamte Schneedecke ab (bis zur Bodenoberfläche).

Nassschneelawinen ereignen sich primär am Ende des Winters und im Frühling, wenn die Temperaturen und dadurch auch die Schneefallgrenze ansteigen. Die zukünftige Entwicklung der Häufigkeit und Mächtigkeit von Nassschneelawinen basiert auf den erwarteten Änderungen der Parameter Temperatur, Schneedeckenmächtigkeit und Starkniederschläge.

Die Resultate finden sich in Tabelle 25 unter dem Szenario schwach und in Tabelle 26 unter dem Szenario stark.

In beiden Szenarien ist aufgrund der Temperaturzunahme eine starke Abnahme der Schneedeckenmächtigkeit unterhalb von 1'900 m ü. M. zu erwarten, mit folglich geringerer Häufigkeit und Mächtigkeit von Nassschneelawinen. In höheren Lagen, wo auch im Frühjahr der Niederschlag zumeist in Form von Schnee fällt, führen höhere Temperaturen dazu, dass die Schneedecke rascher durchfeuchtet. Es ist daher davon auszugehen, dass bei beiden Szenarien Nassschneelawinen oberhalb von 1'900 m ü. M. häufiger werden.

Die Dimension der Nassschneelawinen wird hier auf der Basis der Schneedeckenmächtigkeit am Winterende bestimmt. Unter dem Szenario schwach sind oberhalb von 1'900 m ü. M. keine relevanten Veränderungen im Vergleich zu heute zu erwarten. Dasselbe gilt für das Szenario stark in Höhen zwischen 1'900 und 2'900 m ü. M. Hier wird die erwartete Zunahme der mittleren Winterniederschläge durch höhere Temperaturen kompensiert. Oberhalb von 2'900 m ü. M. ist hingegen ein Anstieg der winterlichen Schneedeckenmächtigkeit zu erwarten und als Konsequenz daraus steigt auch die Dimension der Nassschneelawinen.

SCHWACH	Häufigkeit Nass-schneelawinen	Dimension Nass-schneelawinen
< 1900	-	-
> 1900	+	+/-

Tabelle 25: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Nassschneelawinen in Funktion der Höhenlage (in m ü. M.) unter dem Szenario schwach.***

FORTE	Häufigkeit Nass-schneelawinen	Dimension Nass-schneelawinen
< 1900	-	-
1900 - 2900	+	+/-
> 2900	+	+

Tabelle 26: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Nassschneelawinen in Funktion der Höhenlage (in m ü. M.) unter dem Szenario stark.***

Aufgrund der zuvor erläuterten Entwicklungen und Zusammenhänge werden hier die erwarteten Änderungen der Häufigkeit und Dimension von Lawinen (sowohl Trocken- als auch Nassschnee) analysiert, welche die tiefen (< 1'500 m ü. M) und mittleren Lagen (1'500-2'000 m ü. M.) erreichen. Die grössten Schäden, die mit dieser Gefahr verknüpft sind, werden unterhalb von 2'000 m ü. M. verursacht und betreffen den Wald, die Infrastruktur und den Siedlungsraum.

Bezüglich der Lawinen, die jährlich registriert werden und die tiefen Lagen im Tessin erreichen (vgl. Tabelle 27), wird eine Abnahme der Häufigkeit und Dimension bei beiden Szenarien erwartet. Ursache ist die starke Abnahme der Schneedeckenmächtigkeit unterhalb von 1'900 m ü. M. Dies kann die Reichweite der Lawinen reduzieren, die in hohen Lagen anreissen. Für die seltenen Ereignisse (sehr grosse Lawinen) sind jedoch keine Änderungen unter dem Szenario schwach zu erwarten, während unter dem Szenario stark eine zunehmende Tendenz besteht. Dies aufgrund der erwarteten Zunahme von grossen Lawinen, die aus hohen Lagen losbrechen.

Lawinen, welche tiefe Lagen erreichen (Änderung in %)	Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre		Wiederkehrperiode > 5 Jahre	
	Häuf.	Dim.	Häuf.	Dim.
SCHWACH	-10	-10	0	0
STARK	-20	-20	+10	+15

Tabelle 27: ***Schätzung der zukünftigen Entwicklung hinsichtlich der Häufigkeit und Dimension der Lawinen, die tiefe Lagen erreichen (< 1'500 m ü. M.). Es wird zwischen Normereignissen (Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre) und seltenen Ereignissen (Wiederkehrperiode > 5 Jahre) unterschieden. Unsicherheit: mittel.***

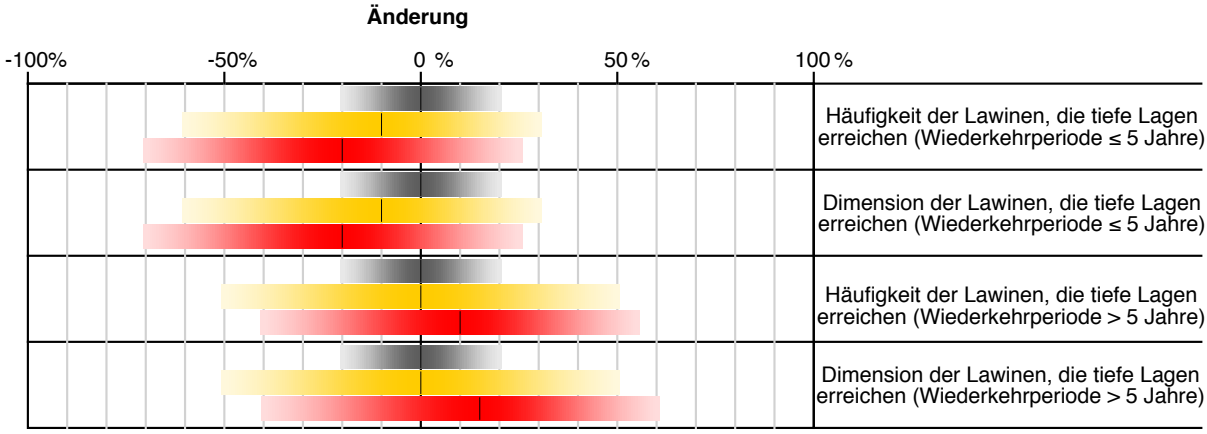


Abbildung 72: ***Grafische Darstellung der geschätzten Änderungen der Häufigkeit und Dimension der Lawinen, welche tiefe Lagen erreichen unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zu heute (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken aufgezeigt.***

Lawinen mit einer Wiederkehrperiode von mehr als 5 Jahren, welche mittlere Lagen erreichen, werden analog wie jene Lawinen analysiert, die tiefe Lagen erreichen. Allgemein werden auch die Lawinen, die mittlere Lagen erreichen und eine kleinere Wiederkehrperiode haben, tendenziell zunehmen. Für das Szenario schwach basiert diese Annahme auf der erwarteten Zunahme von Nassschneelawinen oberhalb von 1'900 m ü. M., während beim Szenario stark zudem die Häufigkeit und Grösse von Trockenschneelawinen zunehmen werden.

Lawinen, welche mittlere Lagen erreichen (Änderung in %)	Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre		Wiederkehrperiode > 5 Jahre	
	Häuf.	Dim.	Häuf.	Dim.
SCHWACH	+5	0	0	0
STARK	+10	+10	+10	+15

Tabelle 28: ***Prozentuale Änderungen der Häufigkeit von Lawinen, die mittlere Lagen erreichen (1500-2'000 m ü. M.). Es wird zwischen Normereignissen (Wiederkehrperiode ≤ 5 Jahre) und seltenen Ereignissen (Wiederkehrperiode > 5 Jahre) unterschieden.***

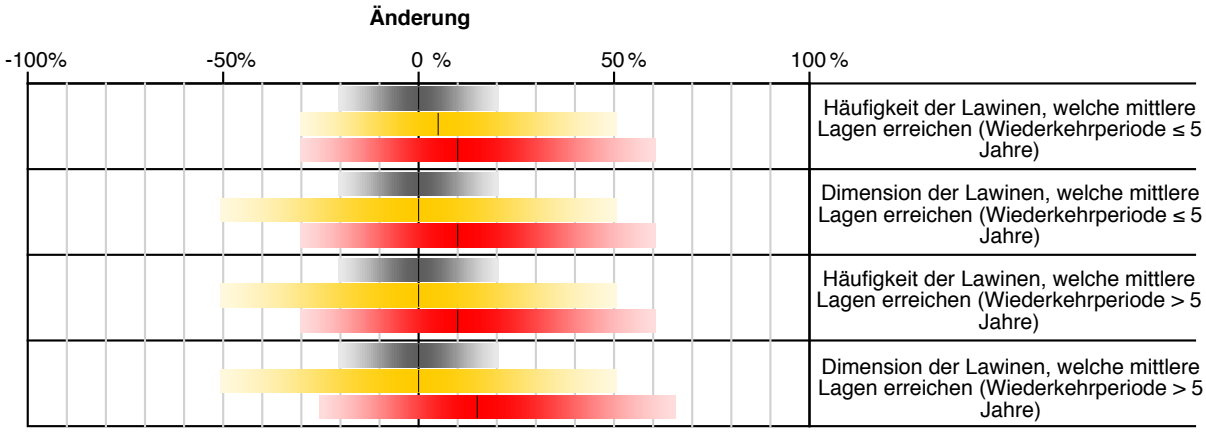


Abbildung 73: ***Grafische Darstellung der vorhergesehenen Änderungen der Häufigkeit und Dimension von Lawinen, die mittlere Lagen erreichen unter dem Szenario schwach 2060 (gelb) und stark 2060 (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien werden die jeweiligen Unsicherheitsbalken gezeigt.***

4.5.8. Hochwasser

Hochwasser entstehen, wenn Bäche, Flüsse, oder Seen über die Ufer treten. Im Tessin sind die Überschwemmungen der beiden grossen Seen relevant, insbesondere des Lago Maggiore. Sie verursachen immer wieder Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen oder an der Landwirtschaft. Über die Ufer tretende Flüsse führen demgegenüber eher zu geringen Schäden, welche meistens vom mitgeführten Geschiebe herrühren. Da diese Art von Prozess bereits im Kapitel Mure/Erdrutsch/Hangmure erläutert wird (Kapitel 4.5.4), wird im Zusammenhang mit Hochwasser nachfolgend einzig auf die Überschwemmungen von Seen eingegangen.

Der Wasserstand der beiden grossen Seen wird durch Wehre kontrolliert, welche die Abflüsse regulieren. Das Ziel dieser Regulierung ist der Erhalt eines möglichst konstanten Abflusses, der einerseits einen genügenden Zufluss für die talabwärts liegenden Ortschaften gewährleistet und andererseits die Gefahr von Hochwasser reduziert. In Perioden mit besonders starken und langandauernden Niederschlägen können die Seen dennoch über die Ufer treten und zu Schäden an Infrastrukturen und ufernahen Lebensräumen führen (wie z.B. im Oktober 2000, November 2002 und November 2014).

Um die zukünftigen Tendenzen der Häufigkeit von Hochwassern zu beurteilen, werden die Resultate einer Studie verwendet, welche im Rahmen des Projektes STRADA (Regione Lombardia e Cantone Ticino, 2013) durchgeführt wurde. Diese hatte zum Ziel, Möglichkeiten zur Verbesserung des Regulierungssystems des Lago Maggiore und des Luganersees abzuklären (Micotti & Weber, 2013). In der Studie werden die Auswirkungen des Klimawandels (unter Anwendung des Szenarios A1B mittel 2041-2050) auf den Abfluss und die verschiedenen Interessenbereiche analysiert. Die Resultate zeigen eine Reduktion von ca. 30 % beim Parameter „Zufriedenheit“ bezüglich „Hochwasser Verbano (Lago Maggiore)“. Die Simulationen sehen eine Verschlechterung der Situation vor, d.h. es ist mit einem Anstieg der Hochwasserereignisse am Lago Maggiore zu rechnen.

Auf der Basis der vorhandenen Daten hat die Arbeitsgruppe demnach entschieden, dass unter dem Szenario stark (A1B extrem 2060) die Häufigkeit von Hochwassern der Tessiner-

Seen um 40 % erhöht sein wird. Unter dem Szenario schwach sind aufgrund der geringen Änderungen des Niederschlagsregimes und der vorhandenen Unsicherheiten keine signifikanten Änderungen im Vergleich zu heute zu erwarten.

Szenario	Häufigkeit der Hochwasserereignisse der Tessiner-Seen (Änderung in %)
SCHWACH	0
STARK	+40

Tabelle 29: Prozentuale prognostizierte Änderungen der Häufigkeit der Hochwasserereignisse des Lago Maggiore und des Luganersees im 2060 in Bezug auf heute unter den Szenarien schwach und stark.

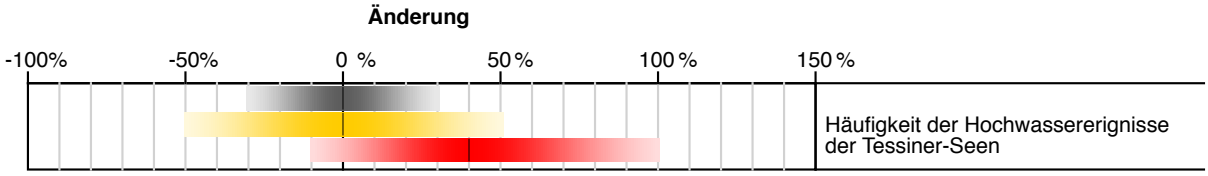


Abbildung 74: Grafische Darstellung der Häufigkeit der Hochwasserereignisse der Tessiner-Seen unter dem Szenario schwach 2060 (gelb) und stark 2060 (rot) in Bezug auf das Referenzszenario (grau). Für alle Szenarien sind die Unsicherheitsbalken graphisch dargestellt.

4.5.9. Gewitter/Hagel

Die Entstehung von Gewittern und Hagel beruht auf kleinskaligen Konvektionsprozessen. Da die räumliche Auflösung der Klimamodelle für eine Simulation dieser Prozesse, welche durch zahlreiche unterschiedliche Aspekte bestimmt werden, nicht genügend hoch ist und das Verständnis dieser Art von Phänomenen eher klein ist, ist eine einigermassen verlässliche Vorhersage der zukünftigen Tendenzen von Gewittern und Hagelereignissen nicht möglich (CH2011, 2011).

Aufgrund dieser unklaren Entwicklungen werden die mit diesem Phänomen verbundenen Risiken mittels einer Sensitivitätsanalyse bestimmt. Die Auswirkungen von Gewittern und Hagelereignissen werden berechnet, indem ihre Häufigkeit mit dem Faktor 1.5 erhöht respektive verringert wird.

4.5.10. Allgemeine Trockenheit

In der Literatur wird zwischen drei Arten von Trockenheit unterschieden: Meteorologische Trockenheit (Niederschlagsdefizit), landwirtschaftliche Trockenheit (ungenügende Bodenfeuchte) und hydrologische Trockenheit (tiefe Abflussrate oder tiefe Grundwasserstände). Diese drei Phänomene treten häufig gleichzeitig auf und sind miteinander gekoppelt.

Diverse Modelle unter dem Szenario schwach zeigen eine Zunahme der Dauer von meteorologischen Trockenperioden (Anzahl aufeinanderfolgende Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag). Die Unsicherheit ist jedoch gross. Einige Modelle sehen keine signifikanten Änderungen vor, während andere einen Anstieg von bis zu 50 % prognostizieren (CH2011, 2011). Die Arbeitsgruppe hat sich dafür entschieden, dass unter dem Szenario schwach die Trockenperioden nicht signifikant ändern und es unter dem Szenario stark zu einer starken Zunahme von 50 % kommt (vgl. Tabelle 30).

Szenario	Dauer der meteorologischen Trockenperioden (Änderung in %)
SCHWACH	0
STARK	+50

Tabelle 30: Prozentuale vorhergesehene Änderungen der Dauer der meteorologischen Trockenperioden bei den Szenarien schwach und stark.

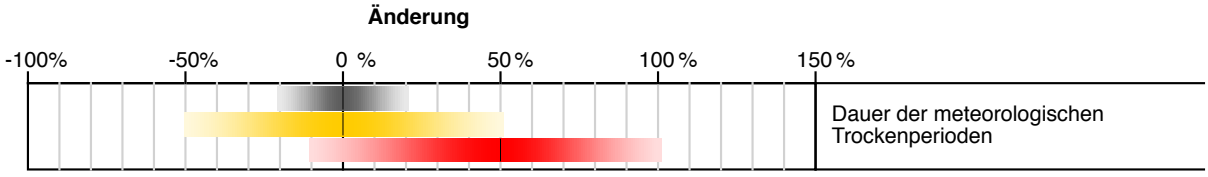


Abbildung 75: Grafische Darstellung der prognostizierten Änderungen der meteorologischen Trockenperioden unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Bei allen Szenarien wird der jeweilige Unsicherheitsbalken dargestellt.

Zusätzlich zu den Änderungen im Niederschlagsregime führen andere Phänomene wie die zunehmende Verdunstung aufgrund des Temperaturanstiegs und die vorzeitige Schneeschmelze zu einer Zunahme der landwirtschaftlichen Trockenheit, insbesondere im Sommer.

Es wird deshalb davon ausgegangen, dass das Risiko der landwirtschaftlichen Trockenheit im Sommer in Zukunft tendenziell zunehmen wird, dies aufgrund der Abnahme der sommerlichen Niederschläge und der frühzeitigen Schneeschmelze in höheren Lagen (BAFU, 2012a).

4.5.11. Waldbrand

Die Alpensüdseite ist die in der Schweiz am häufigsten betroffene Region von Waldbränden. Während der vergangenen 100 Jahre ereigneten sich mehr als die Hälfte aller in der Schweiz registrierten Waldbrände in dieser Region (Conedera, M.; Pezzatti, G. B., 2005).

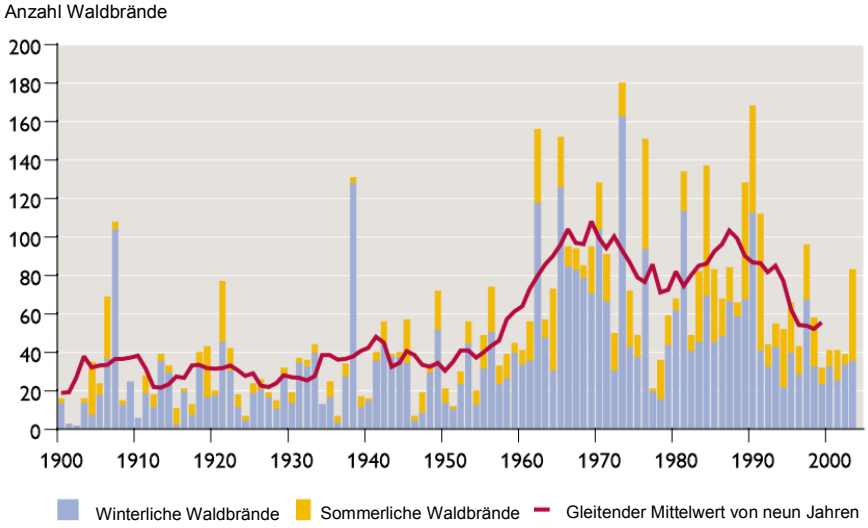


Abbildung 76: Entwicklung der Waldbrände auf der Alpensüdseite, unterteilt in winterliche und sommerliche Waldbrände. Die rote Kurve zeigt den gleitenden Mittelwert von neun Jahren, bezogen auf die totale Anzahl der Ereignisse. Quelle: (Conedera, M.; Pezzatti, G. B., 2005).

Die Anzahl Waldbrände auf der Alpensüdseite zeigt grosse Schwankungen von Jahr zu Jahr (vgl. Abbildung 76). Diese hängen teilweise mit meteorologischen Faktoren zusammen: Relativ feuchte Perioden weisen weniger Waldbrände auf als trockene Perioden. Es gibt viele Faktoren, die zu Waldbränden führen, und nicht alle sind meteorologischer Natur. Die Entwicklung der Waldbrände über die Zeit ist primär auf sozioökonomische Bedingungen, auf eine Zunahme der Waldfläche, auf die Einführung des Feuerverbots im Freien und auf die verbesserte Effizienz der Feuerwehr zurückzuführen. Denn es werden rund 90 % der winterlichen und ca. 70 % der sommerlichen Waldbrände durch menschliche Aktivitäten verursacht (Zeitraum 1991-2003) (Conedera, M.; Pezzatti, G. B., 2005).

Die zukünftige Entwicklung der Waldbrände auf der Alpensüdseite wird einzig auf der Basis der Klimaszenarien ausgewertet. Die Prädisposition von Waldbränden ist weitgehend vom Feuchtegehalt des Bodens und des Unterholzes bestimmt. Man nimmt an, dass aufgrund der prognostizierten Temperaturzunahme mit der daraus folgenden Erhöhung der Verdunstung, der frühzeitigen Schneeschmelze und der Zunahme der Dauer von Trockenperioden (vgl. Kapitel 4.5.10) die Prädisposition für die Entstehung von Waldbränden günstiger sein wird, vor allem im Sommer. Eine Auswertung der zukünftigen Entwicklung der Auslöseereignisse ist hingegen nicht möglich. Die primären natürlichen Auslöser von Waldbränden sind Blitzschläge und deren zukünftige Entwicklung ist momentan unklar (vgl. Kapitel 4.5.9).

Die zukünftige Entwicklung der Häufigkeit von Waldbränden wird somit auf der Grundlage der prognostizierten Änderungen der mittleren Temperatur sowie der Dauer von Trockenperioden geschätzt. Unter dem Szenario schwach wird eine um 5 % höhere Häufigkeit von Waldbränden angenommen, weil zwar die mittlere Temperatur zunimmt, aber keine signifikanten Änderungen der Dauer von Trockenperioden auftreten werden. Unter dem Szenario stark kommt es aufgrund der erwarteten längeren Trockenperioden (+50 %) zu einer bedeutenderen Zunahme von Waldbränden um 25 %.

Szenario	Häufigkeit der Waldbrände (Änderung in %)
SCHWACH	+5
STARK	+25

Tabelle 31: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit von Waldbränden auf der Alpensüdseite unter den Szenarien schwach und stark in Bezug auf heute.***

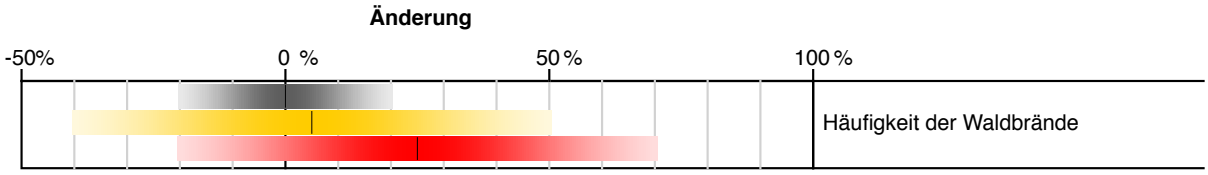


Abbildung 77: ***Grafische Darstellung der prognostizierten Änderungen der Häufigkeit von Waldbränden unter dem Szenario schwach (gelb) und stark- (rot) in Bezug auf das Referenzszenario (grau). Für jedes Szenario sind die dazugehörigen Unsicherheitsbalken dargestellt.***

Bezüglich der Ausdehnung der Waldbrände geht man davon aus, dass die mittlere abgebrannte Fläche sich bis 2060 nicht signifikant ändern wird. Dabei werden mögliche sozioökonomische Entwicklungen nicht berücksichtigt und eine konstante Löscheffizienz angenommen.

4.5.12. Hitzewelle

Momentan existiert keine einheitliche Definition für Hitzewellen. Je nach Land stellt man grosse Unterschiede bezüglich der Temperatur oder der minimalen Dauer eines Ereignisses fest. In der vorliegenden Studie wurde dieselbe Definition übernommen, die von der kantonalen Gesundheitsabteilung und vom Kantonsarztamt zur Analyse der Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gesundheit der Tessiner-Bevölkerung verwendet wurde (Cerutti, et al., 2004). Gemäss dieser Definition sind Hitzewellen wie folgt definiert:

- Die Tagesmitteltemperatur liegt während drei oder mehr Tagen über 24°C.
- Die Temperatur sinkt während mehr als einem Tag nicht unter diesen Schwellenwert.
- Die drei nachfolgenden Tage werden zur oben definierten Hitzewelle dazugezählt.

Die Tage während einer Hitzewelle werden als Hitzewellentage bezeichnet.

Eine Analyse der mittleren Temperatur von Lugano und Locarno zwischen 2003 und 2014 (repräsentative Zeitspanne für die aktuelle Situation) (OASI, 2015a) zeigte, dass in diesen Städten im Mittel 22 Hitzewellentage[8] verteilt auf 2 Hitzewellen auftreten. In Abbildung 78 ist ersichtlich, dass diesbezüglich die Differenz zwischen den beiden Städten minim ist. Man kann daher vermuten, dass die Werte für alle urbanisierten Regionen des Kantons repräsentativ sind.

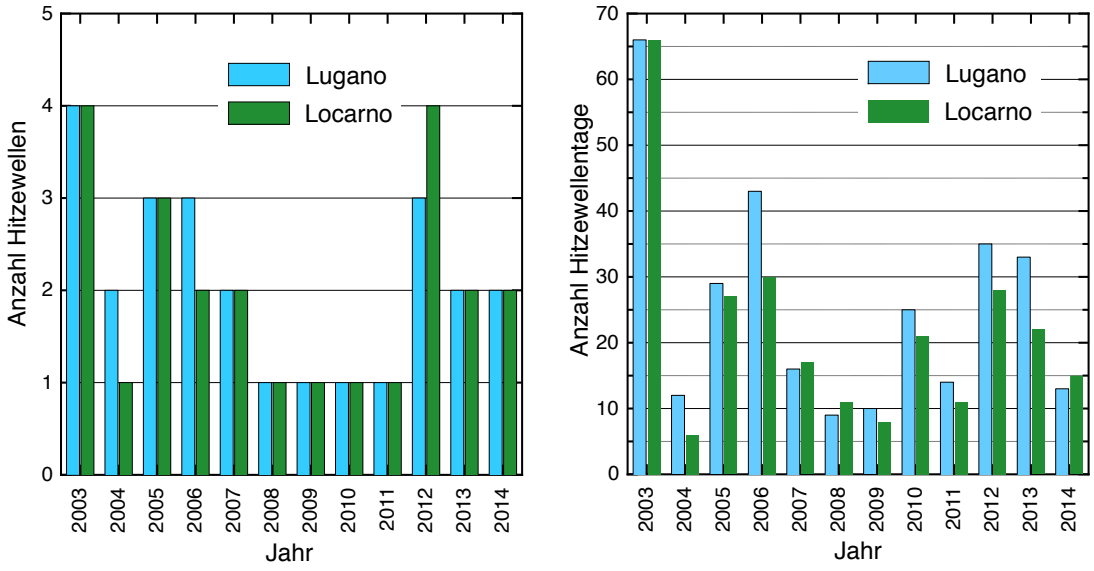


Abbildung 78: Anzahl Hitzewellen (links) und Hitzewellentage (rechts) zwischen 2003 und 2014 in Lugano und Locarno (Orselina) (OASI, 2015a).

Vergleicht man die Anzahl jährlicher Hitzewellentage in Lugano und Locarno mit den mittleren Temperaturen der Monate Juni, Juli und August lässt sich eine Korrelation zwischen den einzelnen Grössen feststellen (vgl. Abbildung 79).

[8] Berechnet ohne Berücksichtigung des Jahres 2003, das als hundertjährliches Ereignis eingestuft wird.

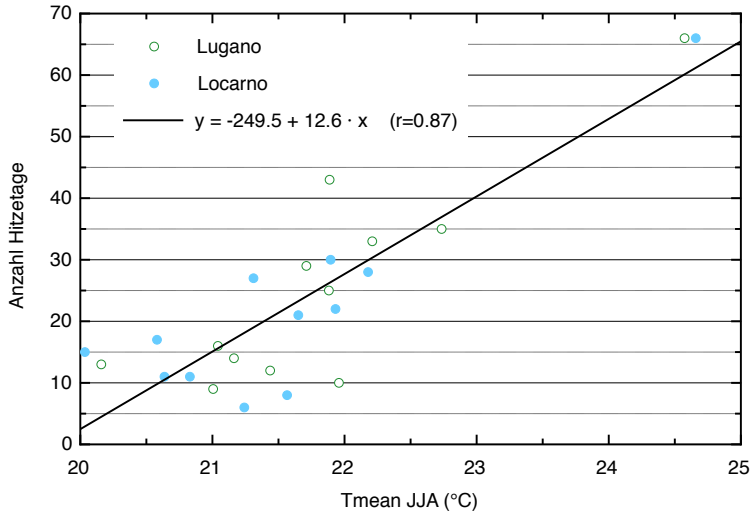


Abbildung 79: ***Korrelation zwischen der Anzahl Hitzewellentage und der mittleren Temperatur der Monate Juni, Juli und August gemessen an den Stationen Lugano und Locarno (Orselina). Die Daten beziehen sich auf den Zeitraum 2003-2014.***

Wird die Korrelation zwischen der Anzahl Hitzewellentage und der mittleren Temperatur in die Zukunft (Szenarien CH2011, siehe 4.3.1) projiziert, ist im Vergleich zu heute unter dem Szenario schwach mit einer Zunahme von 97 % der Hitzetage und unter dem Szenario stark gar ein Anstieg von 212 % zu erwarten (vgl. Tabelle 32). Diese Auswertung basiert auf der Annahme, dass die zeitliche Variabilität von heissen und weniger heissen Tagen in Zukunft bei einer gegebenen Mitteltemperatur in etwa der heutigen Variabilität bei dieser Mitteltemperatur entspricht.

Szenario	Mittlerer Temperaturanstieg (JJA) (°C)	Anzahl Hitzewellentage/Jahr	Zunahme Anzahl Hitzewellentage/Jahr (%)
SCHWACH	+1.7	43	+97
STARK	+3.7	69	+212

Tabelle 32: ***Anstieg der mittleren Sommertemperatur und voraussichtliche Anzahl und Zunahme der Hitzewellentage unter den Szenarien schwach und stark in Bezug zum Referenzszenario.***

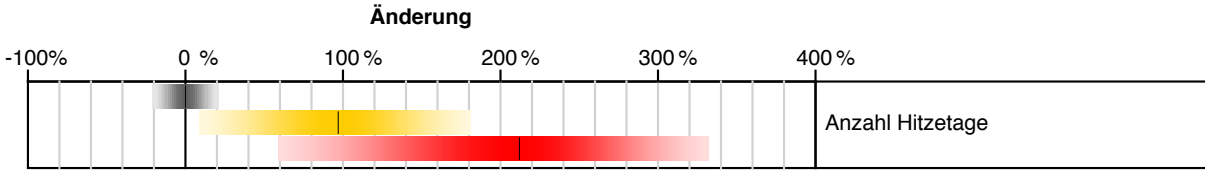


Abbildung 80: ***Grafische Darstellung der Anzahl Hitzewellentage im Jahr 2060 unter dem Szenario schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für jedes Szenario sind die dazugehörigen Unsicherheitsbalken dargestellt.***

4.5.13. Kältewelle

Unter Kältewellen versteht man meteorologisch betrachtet einen Zeitabschnitt während dem die Lufttemperatur aussergewöhnlich tief liegt. Speziell relevant sind dabei Kältewellen während des Winters, bei welchen Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt erreicht werden.

Allgemein ist schweizweit mit einer Abnahme sowohl der Intensität (Differenz zwischen der tiefsten erreichten und mittleren Temperatur einer Region) als auch der Dauer von Kältewellen zu rechnen, dies insbesondere im Winter (CH2011, 2011).

Aufgrund der geringen Relevanz dieser Gefahr auf der Alpensüdseite wird auf eine Analyse der zukünftigen Entwicklung verzichtet.

4.5.14. Frost

Tage, an welchen die Temperatur unter die Nullgradgrenze fällt, sind für den Winter charakteristisch, treten jedoch je nach Höhenlage auch im Frühling und im Herbst auf. Frost kann grosse Schäden an Infrastrukturen und an der Vegetation verursachen. In den letzten Jahren hat die jährliche Anzahl Frosttage abgenommen. In San Bernardino beispielsweise kam es zwischen 1970 und 2014 zu einer Abnahme von rund 15 % (vgl. Abbildung 23).

Die erwartete Temperaturzunahme wird zu einer generellen Abnahme der Frosttage führen und zwar in allen Höhenlagen. Die prozentualen Änderungen finden sich in Tabelle 33 und Abbildung 81 und basieren auf den in Kapitel 4.4.2 ausgewerteten Daten bezüglich der Frosttage.

Anzahl Frosttage pro Jahr (Änderung in %)	< 1500	> 1500
SCHWACH	-40	-15
STARK	-70	-30

Tabelle 33: ***Angenommene Entwicklung der Anzahl Frosttage pro Jahr für tiefere (< 1'500 m ü. M.) und höhere Lagen (> 1'500 m ü. M.) unter den beiden Szenarien schwach und stark.***

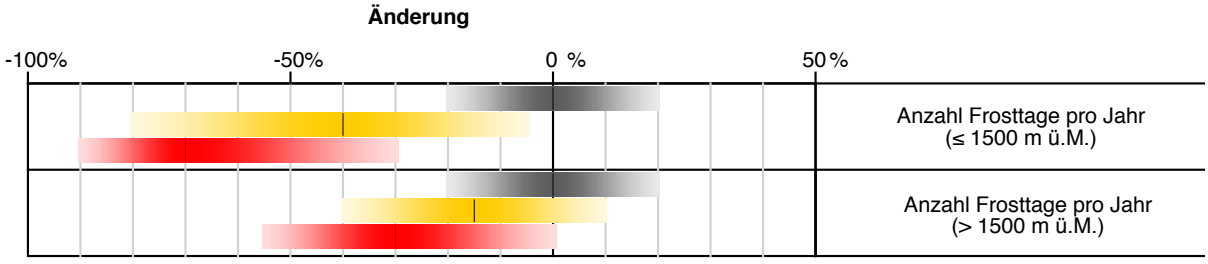


Abbildung 81: ***Grafische Darstellung der Änderungen der jährlichen Anzahl Frosttagen unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für jedes Szenario sind die dazugehörigen Unsicherheitsbalken dargestellt.***

4.5.15. Auftauen Permafrost

Im Tessin findet sich Permafrost primär oberhalb von 2'300 m ü. M. in nordexponierten Hängen und oberhalb von 2'650 m ü. M. in süd- bis südwestexponierten. Permafrost hat generell eine stabilisierende Wirkung auf den Untergrund (Scapozza & Mari, 2010) und existiert oft in Form von Blockgletschern.

Da der Einfluss des Klimas auf dieses Phänomen äusserst komplex ist, wird nachfolgend auf die bekannten Hauptwechselwirkungen eingegangen.

Permafrost ist durch eine unterschiedlich mächtige Schicht an der Bodenoberfläche charakterisiert, welche im Verlauf des Jahres auftaut und wieder gefriert (Auftauschicht). Mit steigenden Lufttemperaturen und mit eindringendem Schmelzwasser steigen die Temperaturen des Bodens an und die Auftauschicht schmilzt allmählich. Im Herbst gefriert sie wieder. Eine herausragende Bedeutung für die Dynamik des Permafrosts hat die Schneedecke. Ihre isolierenden Eigenschaften trennen den Boden von den Temperaturen der Luft. Der Permafrost wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Schneedecke: Verzögertes Einschneien fördert die Auskühlung des Bodens. Früher eintretende Schneeschmelze bewirkt verlängerte Auftauperiode des Permafrosts.
- Lufttemperatur: Höhere Temperaturen im Sommer wärmen den Boden stärker auf und bewirken eine Zunahme der Mächtigkeit der Auftauschicht.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Exposition: Die Oberflächen südexponierter Hänge und Wände erreichen aufgrund der stärkeren und längeren Sonneneinstrahlung höhere Temperaturen als die Umgebungsluft. Die untere Verbreitungsgrenze des Permafrosts liegt deshalb in der Regel in südexponierten Lagen deutlich höher als in nordexponierten, da dort die Temperatur des Bodens primär von der Temperatur der Umgebungsluft abhängt.

Der Einfluss des Klimas hängt in hohem Masse auch von der Art des Permafrosts ab. Für die Auswirkungen des Klimawandels ist es deshalb wichtig zwischen Permafrost in Lockergesteinen und Permafrost in Festgesteinen resp. Fels zu unterscheiden.

Permafrost in Lockergesteinen

Permafrost mit viel Eisanteil reagiert langsamer auf Änderungen der Temperatur als jener mit wenig Eis. Der Eisgehalt hängt weitgehend von der Bodenform ab. Böden mit viel Kies und Blöcken enthalten mehr Eis als Böden mit einem hohen Sand- resp. Feinkiesanteil. Entscheidend ist auch die Mächtigkeit des Permafrostes: Je weiter der Permafrost in die Tiefe reicht umso geringer wird der Einfluss des Klimawandels sein. Permafrostböden grosser horizontaler aber geringer vertikaler Ausdehnung reagieren hingegen schneller auf veränderte klimatische Bedingungen wie z.B. das Ansteigen der Temperatur.

Generell geht man davon aus, dass es bei beiden Szenarien (stark und schwach) zu einer Zunahme des Auftauens des Permafrostes kommt, primär als Folge des Temperaturanstiegs. Eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung findet sich in Tabelle 34.

Auftauen des Permafrosts in Lockergesteinen	Tiefer und kalter Permafrost		Oberflächlicher und relativ warmer Permafrost	
	GK-B	FK-S	GK-B	FK-S
SCHWACH	+/-	+	+	+
STARK	+	++	+	++

Tabelle 34: ***Prognostizierte Entwicklung des Auftauens des Permafrostes in Lockergesteinen unter den Szenarien schwach und stark. Es wird zwischen tiefem, kaltem und oberflächlichem, warmem Permafrost unterschieden. Auch werden zwei verschiedene Untergründe berücksichtigt: Grobkies mit Blöcken (GK-B) sowie Feinkies und Sand (FK-S).***

Durch das Auftauen des Permafrosts im Lockergestein wird loser Schutt in höheren Lagen zunehmen. Dies kann zu einer Zunahme von Hangmuren führen (vgl. Kapitel 4.5.4).

Permafrost im Festgestein

Permafrost im Festgestein resp. Fels weist einen deutlich geringeren Eisgehalt auf als jener im Lockergestein. Im steilen Gelände ist ersterer oft nicht mit einer isolierenden Schicht (Lockergestein oder Schnee) überzogen und reagiert somit rascher auf Änderungen der Lufttemperatur.

Auch bei Permafrost im Fels geht man generell sowohl bei süd- als auch bei nordexponierten Hängen von einem Auftauen und einer Abnahme der Verbreitung des Permafrosts infolge der Temperaturzunahme aus. Eine Schätzung der zukünftigen Entwicklung findet sich in Tabelle 35.

Auftauen des Permafrosts in Festgesteinen	Tiefer und kalter Permafrost	Oberflächlicher und relativ warmer Permafrost
SCHWACH	+/-	+
STARK	+	++

Tabelle 35: ***Prognostizierte Entwicklung des Auftauens des Permafrosts in Festgesteinen unter dem Szenario schwach und stark. Es wird zwischen tiefem, kaltem und oberflächlichem, warmem Permafrost unterschieden.***

Das prognostizierte Auftauen des Permafrosts im Festgestein kann zu einem Anstieg von Sturzprozessen (Stein-, Blockschlag und Felsstürze) führen (vgl. Kapitel 4.5.16).

Eine quantitative Schätzung des Auftauens von Permafrost ist im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich. Die direkten Auswirkungen dieser Gefahr/ dieses Effektes auf Infrastrukturen und Gebäude über Permafrostböden sind denn auch nur begrenzt erfassbar. Aus diesem Grund hat die Arbeitsgruppe entschieden, keine quantitative Schätzung durchzuführen.

4.5.16. Steinschlag/Fels-/Bergsturz

Die Sturzprozesse können in drei Kategorien unterteilt werden:

- Stein- und Blockschlag (Einzelkomponenten bis mehrere m^3 gross),
- Felsstürze (Ausbruchvolumen 100 m^3 bis 1 Million m^3),
- Bergstürze (Ausbruchvolumen > 1 Mio. m^3).

Auf der Alpensüdseite kommt es im Jahresverlauf oft zu Sturzprozessen. Historische Daten zeigen, dass Felsstürze eine Wiederkehrperiode von einigen Jahren haben, während sich Bergstürze nur alle paar Jahrzehnte ereignen.

Grunddisposition: Die Grunddisposition für Sturzprozesse ist primär durch instabilen Fels gegeben, welcher durch meteorologische Einwirkungen losbrechen kann. Diese Instabilität ist durch die geologischen Eigenschaften bestimmt. Je zerklüfteter der Fels, desto einfacher kann Wasser eindringen und zu chemischen Reaktionen führen, den hydrostatischen Druck erhöhen oder zur Bildung von Eis führen. Dadurch wird die Stabilität des Felsgesteins reduziert.

Variable Disposition: Felswände in hohen Lagen sind oftmals mit Permafrost durchsetzt. Generell hat kalter Permafrost (Temperatur deutlich unter 0 °C) eine stabilisierende Wirkung auf den Fels. Wenn sich die Temperatur des Permafrost 0 °C nähert, wird die Kohäsion aufgrund des Vorhandenseins von Wasser in den Klüften reduziert. Der Zustand des Permafrosts im Fels beeinflusst somit die variable Disposition für sämtliche Sturzprozesse.

Auslösender Prozess: Das Losbrechen von Fels kann durch unterschiedliche Prozesse verursacht werden. Die wichtigsten hängen mit dem Einfluss von Eis, dem hydrostatischen Druck des Kluftwassers und der Spülwirkung des abfliessenden Wassers in steileren Flanken zusammen. Der Einfluss von Eis auf die Stabilität von Fels hängt von zwei grundsätzlichen Phänomenen ab:

- *Volumenexpansion*: Die Phasenänderung von Wasser zu Eis geht mit einer Volumenzunahme von rund 10 % einher. Gefrierendes Wasser generiert in Felsklüften also einen starken Druck, der zum Auseinanderbrechen der Klüfte führen kann. Sich wiederholende Tau- und Gefrierprozesse fördern die Wahrscheinlichkeit dafür. Dieser Prozess ist auf die äusserste Felsschicht (bis einige Dezimeter tief) limitiert und führt zu Steinschlag.

- *Bildung von Segregationseis:* Während Frostperioden können sich in den Poren und kleinen Klüften Eislinsen bilden. Je nach Temperaturgradient kann Feuchtigkeit von den Eislinsen aufgenommen werden, was zu deren Wachstum führt. Durch den wachsenden Druck können Risse und Klüfte entstehen. Dieser Prozess spielt sich primär in Festgesteinen mit Permafrost ab und dauert Monate bis Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte. Das Schmelzen der Eislinsen kann zu einer Instabilität des Festgesteins führen und Fels- oder Bergstürze verursachen.

Die Bildung von Eis in Klüften kann ausserdem zur Entstehung von wasserundurchlässigen Schichten führen, und eindringendes Wasser aufstauen. Dies kann den hydrostatischen Druck erhöhen und ebenfalls Sturzprozesse auslösen.

Steinschlag

Die zukünftige Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Steinschlag wird auf Basis der prognostizierten Anzahl Frostwechseltage und des Wasserangebots infolge von Starkniederschlägen und Schneeschmelze abgeschätzt. Nächtlicher Frost bewirkt eine oberflächliche Zerklüftung des Gesteins, das sich im Zusammenhang mit Starkniederschlägen und grossem Schmelzwasserangebot vom Fels lösen kann und zu Tal fällt.

Die zukünftige Entwicklung der Anzahl Frostwechseltage in Bezug zur Höhenlage und Exposition (vgl. Tabelle 36) basiert auf dem Bericht Klimasensitivität Naturgefahren (geo7, 2015).

Generell führt die Temperaturzunahme zu einer Abnahme der Frostwechseltage in tiefen (Exposition Nord) bis mittleren (Exposition Süd) Lagen. In mittleren (Nord) bis hohen (Süd) Lagen sind keine Änderungen zu erwarten. In hohen Lagen ist unter dem Szenario stark mit einer leichten Zunahme der Frostwechseltage zu rechnen (vgl. Tabelle 36). Der Unterschied zwischen süd- und nordexponierten Hängen ergibt sich aus der Sonneneinstrahlung, welche die südexponierten stärker erwärmt. Die nordexponierten Hänge reagieren empfindlicher auf Veränderungen der Lufttemperatur.

Um Steinschlag auszulösen genügen intensive Niederschlagsereignisse oder ein grosses Schmelzwasserangebot. Steinschlag tritt vermehrt im Zeitraum zwischen Winter bis Spätfrühjahr auf, da in dieser Jahreszeit, aufgrund der Frostwechseltage, mehr instabiles Gestein anfällt. Die zukünftige Entwicklung des Wasserangebots, das zu Steinschlag führen kann, basiert auf den prognostizierten Veränderungen der Starkniederschläge (vgl. Kapitel 4.5.3) und der Schneeschmelze am Ende des Winters und im Frühling. Die Annahmen sind in Tabelle 37 ersichtlich.

SCHWACH		
Exposition	**Höhe (m ü. M.)**	**Frostwechseltage**
Süd	> 2200	+/-
Süd	< 2200	-
Nord	> 1200	+/-
Nord	< 1200	-

STARK		
Exposition	**Höhe (m ü. M.)**	**Frostwechseltage**
Süd	2400 - 3200	+/-
Süd	< 2400	-
Nord	2400 - 3200	+
Nord	1600 - 2400	+/-
Nord	< 1600	-

Tabelle 36: ***Angenommene Entwicklung der Anzahl Frostwechseltage abhängig von Exposition und Höhenlage und unter den Szenarien schwach und stark.***

SCHWACH	Wasserangebot (Steinschlag)
> 1900	+
600 - 1900	+/-
< 600	-

STARK	Wasserangebot (Steinschlag)
> 2400	+
1100 - 2400	+
< 1100	+/-

Tabelle 37: ***Prognostizierte Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Steinschlagereignissen nach Exposition und Höhenlage unter dem Szenario schwach.***

Die Änderungen unter dem Szenario schwach sind auf die voraussichtliche Reduktion der Schneedecke in tiefen Lagen (weniger Schmelzwasser) zurückzuführen. In hohen Lagen kommt es infolge der früher eintretenden Schneeschmelze zu einer Zunahme des Wasserangebots. Unter dem Szenario stark ist mit einem Anstieg der Starkniederschläge in mittleren und hohen Lagen zu rechnen. In tiefen Lagen sind hingegen infolge der Reduktion der Schneedecke und dem daraus resultierenden geringeren Schmelzwasserangebot keine Änderungen zu erwarten.

Die Entwicklungen der Frostwechseltage und des Wasserangebots werden für die Auswertung der zukünftigen Häufigkeit und Intensität von Steinschlag zusammengeführt. Sie sind in Tabelle 38 unter dem Szenario schwach und in Tabelle 39 unter dem Szenario stark zusammengestellt.

In mittleren bis tiefen Lagen wird bei beiden Szenarien eine Abnahme sowohl der Häufigkeit als auch der Dimension von Steinschlag erwartet. Dies ist primär auf den zukünftigen Rückgang der Frostwechseltage in diesen Lagen zurückzuführen ist. In hohen Lagen ist hingegen mit einer Zunahme der Steinschlagereignisse zu rechnen, insbesondere in nordexponierten Hängen. Die Zunahme wird zudem durch das zukünftige Auftauen des Permafrosts in hohen Lagen verstärkt (vgl. Kapitel 4.5.15), was in der Analyse nicht berücksichtigt worden ist.

SCHWACH

Exposition	Höhe (m ü. M.)	Frostwechseltage	Wasserangebot	Häufigkeit Steinschlag	Dimension Steinschlag
Süd	> 2200	+/-	+	+	+/-
Süd	< 2200	-	+/-	-	-
Nord	> 1900	+/-	+	+	+/-
Nord	1200 - 1900	+/-	+/-	+/-	+/-
Nord	600 - 1200	-	+/-	-	-
Nord	< 600	-	-	-	-

Tabelle 38: ***Angenommene Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Steinschlagereignissen nach Exposition und Höhenlage unter dem Szenario schwach.***

STARK

Exposition	Höhe (m ü. M.)	Frostwechseltage	Wasserangebot	Häufigkeit Steinschlag	Dimension Steinschlag
Süd	2400 - 3200	+/-	+	+	+/-
Süd	1100 - 2400	-	+	-	-
Süd	< 1100	-	+/-	-	-
Nord	2400 - 3200	+	+	+	+
Nord	1600 - 2400	+/-	+	+	+/-
Nord	1100 - 1600	-	+	-	-
Nord	< 1100	-	+/-	-	-

Tabelle 39: ***Prognostizierte Entwicklung der Häufigkeit und Dimension von Steinschlagereignissen nach Exposition und Höhenlage unter dem Szenario stark.***

Häufigkeit von Steinschlagereignissen (Änderung in %)	Nord		Süd	
	< 1500	> 1500	< 2300	> 2300
SCHWACH	-10	+10	-10	+5
STARK	-20	+15	-20	+10

Tabelle 40: ***Prozentuale Änderungen der Häufigkeit von Steinschlagereignissen in Bezug zu Exposition und Höhenlage (in m ü. M.) unter den Szenarien schwach und stark.***

Basierend auf den zuvor hergeleiteten Entwicklungen werden die Änderungen der Häufigkeit von Steinschlagereignissen für die beiden Szenarien nach Höhenlage und Exposition abgeschätzt (vgl. Tabelle 40). In tiefen Lagen erwartet man infolge des Klimawandels eine Abnahme von Steinschlag, während es in hohen Lagen zu einer Zunahme kommt, die bei beiden Szenarien von der Exposition des Hanges abhängt. In den nordexponierten Hängen er-

wartet man aufgrund der grösseren Empfindlichkeit gegenüber Lufttemperaturänderungen und der grösseren Verbreitung von Permafrost eine stärkere Zunahme.

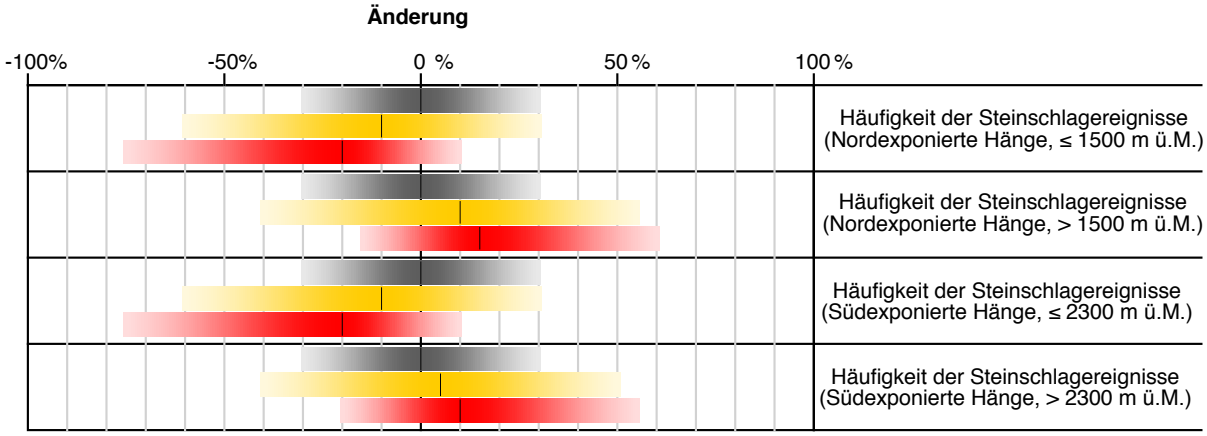


Abbildung 82: ***Grafische Darstellung der Änderungen der Häufigkeit von Steinschlagereignissen unter dem Szenario schwach (gelb) und stark (rot) in Bezug zum Referenzszenario (grau). Für jedes Szenario sind die dazugehörigen Unsicherheitsbalken dargestellt.***

Fels-/Bergsturz

Eine Auswertung der zukünftigen Entwicklung der Dimension und Häufigkeit von Fels- und Bergstürzen, so wie sie für Steinschlag durchgeführt wurde, erweist sich als äusserst komplex. Der Prozess Bergsturz ist eng an die strukturellen und geologischen Eigenschaften des Gesteins gebunden, so dass der Einfluss des Klimawandels kaum zu erfassen ist.

Dennoch sind einfache Annahmen möglich. Die vorliegende Studie geht davon aus, dass **in hohen Lagen die Häufigkeit und Dimension von Felsstürzen kleinerer Dimension (< 10'000 m^3)** in beiden Szenarien **tendenziell zunimmt**. Dies wird mit dem Auftauen des Permafrosts begründet.

Grössere Fels- und Bergstürze ereignen sich hingegen nur in Zusammenhang mit langanhaltenden Niederschlägen, welche zu einem grossen Wasserangebot führen. Im Tessin ereigneten sich die bedeutendsten Valegión-Felsstürze von Preonzo (in den Jahren 2000, 2002 und 2012) jeweils nach über mehrere Tage andauernden Starkniederschlägen.

Die Klimamodelle für das Jahr 2060 (Szenario schwach und stark) sehen keine signifikanten Änderungen der maximalen Niederschlagssumme über 5 Tage vor (CH2011, 2011). Die Temperaturzunahme wird jedoch das Verhältnis Regen zu Schnee erhöhen und im Frühjahr die Schneeschmelze beschleunigen. Aufgrund des daraus folgenden erhöhten Wasserangebots kann man somit davon ausgehen, dass es in Zukunft zu einer **leichten Zunahme von Fels- und Bergstürzen kommen kann, insbesondere von Ende Herbst bis ins Frühjahr**.

4.5.17. Sturm/Orkan

Stürme und Orkane weisen ein grosses Schadenpotential an Wald und Infrastrukturen auf. Historische Daten belegen, dass die Schweiz im Schnitt alle 10 – 15 Jahre von einem Orkan heimgesucht wird.

Die Klimamodelle zeigen keine signifikanten Trends für die zukünftige Entwicklung von Stürmen (CH2011, 2011). Einige Modelle gehen von einer Zunahme der Intensität von Zyklonen in Nordeuropa und einer Abnahme im Mittelmeerraum aus. Da die Schweiz in der Mitte der beiden Gebiete mit unterschiedlichen Tendenzen liegt, ist nicht klar, welche der beiden Entwicklungen eher gilt. Einige Simulationen gehen von einer Abnahme der Häufigkeit und gleichzeitigen Zunahme der Intensität von Stürmen auf der Alpennordseite aus (CH2011, 2011).

Aufgrund der grossen Unsicherheit und mangels klarer Tendenzen der zukünftigen Entwicklung werden die mit dieser Naturgefahr verbundenen Risiken anhand einer Sensitivitätsanalyse bestimmt. Es werden die Auswirkungen einer Zunahme resp. Abnahme um den Faktor 1.5 berechnet.

4.6. SOZIOÖKONOMISCHES UND DEMOGRAFISCHES SZENARIO

	Indikatoren	Trendaussagen Tessin 2060	Unsicherheit[9]
Gesundheit	Anzahl Einwohner insgesamt	Die Bevölkerung des Kantons Tessin zählt heute rund 346'500 Einwohner (ca. 4 % der gesamtschweizerischen Bevölkerung). In den letzten Jahren kam es zu einem starken Bevöllkerungswachstum; 1970 lag die Bevölkerungszahl des Tessins noch bei 250‘000 Einwohnern (28 % weniger als heute). Im Zeitraum 2005 - 2030 ist im Tessin mit einem Bevölkerungswachstum von 9.3 % zu rechnen, während gesamtschweizerisch ein Anstieg von 9.2 % erwartet wird (BFS, 2007). Gemäss mittlerem Bevölkerungsszenario (A-00-2010) des Bundesamtes für Statistik (BFS, 2010) steigt die Bevölkerung in der Schweiz zwischen 2010 und 2060 um 14 % an (Analysezeitraum dieser Studie). Vergleicht man diesen Wert mit dem Verhältnis zwischen den Wachstumsprognosen des Zeitraums 2005 bis 2030 der Schweiz und dem Tessin, ist im Tessin mit einem Wachstum bis 2060 von 14.2 % zu rechnen. Dies wären dann gesamthaft 395‘700 Einwohner.	2
Gesundheit	Bevölkerungsverteilung nach Alter	Die Tessiner Bevölkerung (und jene der Schweiz) wird in Zukunft tendenziell altern. Die sich verändernde Altersstruktur der Bevölkerung wird zu einer Zunahme der Kosten und Ausgaben im Gesundheitswesen führen (grösserer Pflegebedarf). Für den Zeitraum 2005 bis 2030 ist gemäss Bundesamt für Statistik mit einer Zunahme des Anteils der über 65-Jährigen von 16 % auf 26 % in der Schweiz und von 19 % bis 27 % im Tessin zu rechen (BFS, 2007). Unter dem Szenario A-00-2010 ist hingegen mit einem Anstieg des Anteils Personen ab 65 Jahren von 17 % (2010) auf 28 % bis 2060 zu rechnen (BFS, 2010). Unter Berücksichtigung dieser Fakten ist im Tessin eine Zunahme des Anteils der über 65-Jährigen von 21 % auf 30.4 % bis 2060 zu erwarten. Nebst den über 65-Jährigen ist bis 2060 auch mit einem weiteren Anstieg der Personen ab 80 Jahren in der Schweiz zu rechnen. Zwischen 2005 und 2030 wird ein Anstieg der Tessiner Bevölkerung ab 80 Jahren von 5.3 % auf 9.9 % und der Schweizer Bevölkerung derselben Altersklasse von 4.5 % auf 8.3 % prognostiziert (BFS, 2007). Unter dem Szenario A-00-2010 wird jedoch schweizweit der Anteil Personen ab 80 Jahren von 5 % im 2010 auf 12 % im 2060 zunehmen (+140 %). Unter Berücksichtigung dieser Fakten ist im Tessin von einem Anstieg des Anteils Personen ab 80 Jahren von heute 6 % auf 14.7 % im Jahr 2060 (Zunahme um 145 %) auszugehen.	2

[9] 1 = gering, 2 = mittel, 3 = gross.

Gesundheit	Anzahl pflege-bedürftiger Menschen	Aufgrund des starken Anstiegs der über 65-Jährigen bis 2060 ist auch ein starker Anstieg der über 80-Jährigen zu erwarten. Daher ist mit einer steigenden Zahl pflegebedürftiger alter Menschen zu rechnen (Zunahme des Bedarfs an sanitären Infrastrukturen). Gemäss für die ganze Schweiz entwickelten Szenarien (Höpflinger, Bayer-Oglesby, & Zumbrunn, 2011) ist davon auszugehen, dass im Zeitraum 2010 - 2030 die mittlere Dauer von Pflegebedürftigkeit konstant bleibt und die Zahl der pflegebedürftigen Menschen, aufgrund des Anstiegs der über 65-Jährigen, um 46 % ansteigt (von 125‘000 auf 182‘000 Personen). Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Zahl schweizweit im Zeitraum 2030 - 2060 um etwa 50 % auf 290‘000 Personen erhöht (132 % Anstieg im Vergleich zum 2010) (EBP/SLF/WSL, 2013a). Da im Tessin ein weniger starker Anstieg der über 65-Jährigen erwartet wird (44.7 % im Vergleich zu 64.7 % der gesamten Schweiz), ist hier mit einer Zunahme der pflegebedürftigen Personen im Zeitraum 2010 – 2060 um 91 % zu rechnen.	3
Gesundheit	Anzahl Menschen mit Poly-morbi-dität	Nebst den älteren Menschen und Kindern sind Personen mit Polymorbidität diejenigen, die am meisten unter Hitzewellen leiden. Es handelt sich dabei um Personen, die von verschiedenen Krankheiten betroffen sind, wie z.B. Herz-Kreislauf-, Atmungs- und Bewegungsprobleme etc. Es ist wahrscheinlich, dass bis 2060 Personen mit Polymorbidität um 10 % ansteigen. Dies aufgrund der starken Zunahme der Anzahl über 65- resp. 80-Jährigen (EBP/SLF/WSL, 2013a).	3
Landwirtschaft	Nettowert-schöpfung	Die Entwicklung der Tessiner Landwirtschaft bis 2060 wird eng mit der Entwicklung der Landwirtschaft der Schweiz verbunden sein. Letztere ist wesentlich bestimmt durch den Auftrag, die Versorgung der Bevölkerung mit bestimmten Lebensmitteln sicherzustellen. Zwischen 1960 und 2000 produzierte die schweizerische Landwirtschaft ca. 2/3 der im Land konsumierten Nahrungsmittel (Repubblica e Cantone Ticino, 2013). Im Tessin kam es im Zeitraum 1999 bis 2011 zu einer Abnahme der Bruttowertschöpfung der Landwirtschaft um 5.4 % (UStat, 2012). Auch wenn es zu einer Abnahme dieses Werts kommt, sind die jährlichen Schwankungen bedeutend. Es könnte zudem davon ausgegangen werden, dass in Zukunft diese Abnahme teilweise durch die Zunahme von lokalen qualitativ hochwertigen Produkten kompensiert wird. Im selben Zeitraum wurde eine Abnahme der landwirtschaftlichen Bruttoproduktion um 4.7 % beobachtet. Die sozioökonomischen Szenarien der Schweiz gehen davon aus, dass zwischen 2010 und 2060 die Nettowertschöpfung der Landwirtschaft um 0.51 % pro Jahr abnimmt (Ecoplan, 2005). Da die Bruttoproduktion des Tessins ähnlich wie jene der Schweiz abnahm, kann davon ausgegangen werden, dass die erwähnte prozentuale Abnahme der Nettowertschöpfung auch fürs Tessin gilt. Bis 2060 ist somit davon auszugehen, dass im Tessin die Nettowertschöpfung der Landwirtschaft im Vergleich zu 2010 um 25 % abnimmt.	2

Landwirtschaft	Produzen-tenpreis	Der zukünftige Markt der Landwirtschaft wird immer offener und kompetitiver sein. Die begrenzte und empfindliche Produktion des Tessins wird somit immer mehr unter Druck geraten. Zwischen 2000 und 2025 ist mit einer Abnahme des landwirtschaftlichen Produzentenpreises um ca. 20 % zu rechnen, wodurch es zu einer immer grösseren Annäherung an den Weltmarkt kommt (EBP/SLF/WSL, 2013a). Die Produzentenpreise der Schweiz werden immer mehr unter Druck geraten, dies auch aufgrund der Verhandlungen der Doha-Runde. Die Preisvolatilitäten werden weiter zunehmen, da Lebensmittel zunehmend auf den Finanzmärkten gehandelt werden und die Preise damit auch einer Spekulation unterworfen sind (EBP/SLF/WSL, 2013a).	2
Landwirtschaft	Landwirt-schaftliche Nutzfläche	Im Tessin sind rund 13 % des Kantonsgebiets landwirtschaftlich geprägt (landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und Alpwirtschaften). Neben der Waldfläche zusammen mit den unproduktiven Flächen, die 81 % ausmachen, ist dies ein bedeutender Anteil. Zwischen 2000 und 2013 nahm die landwirtschaftliche Nutzfläche im Tessin um 1.4 % zu (von 14’161 ha zu 14'359 ha) (Repubblica e Cantone Ticino, 2014). Diese Zunahme ist in erster Linie auf die Einbeziehung neuer Flächen in hohen Lagen (weniger produktiv) zurückzuführen. Die Flächen in Tallagen, welche am meisten zur Produktion beitragen und eine grössere Mechanisierung der Prozesse erlauben, nehmen bereits heute ab. In Zukunft ist eine Abnahme der LN um 6 % zu erwarten, aufgrund der Nutzung des Bodens für andere Zwecke (Gebäude, Strassen etc.). Dieser Wert entspricht der vermuteten Zunahme der bebauten Fläche. So wird vermutet, dass die Zunahme der bebauten Fläche auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche geschieht. Dabei ist zu erwähnen, dass vor allem Tallagen, wo die produktivsten Flächen vorkommen, davon betroffen sind. Es wird aber eine Stilllegung der Flächen mit geringerer Produktivität (insbes. Alpweiden) und deren Verwilderung erwartet. Dies kann zu negativen Auswirkungen in Bezug auf Naturgefahren, Artenvielfalt, Landschaft und dadurch auch auf den Tourismus führen (Repubblica e Cantone Ticino, 2013).	3
Landwirtschaft	Anzahl Betriebe	Zwischen 2000 und 2011 kam es im Tessin zu einer Abnahme der Bauernbetriebe um 22 % (von 1‘508 auf 1‘177 Betrieben) (Repubblica e Cantone Ticino, 2013). Diese Abnahme ist teilweise auf den Zusammenschluss von mehreren kleinen zu grösseren Betrieben (bessere Markchancen) zurückzuführen. So wurde in der Tat ein Anstieg der mittleren Betriebsgrösse beobachtet. Im Tessin und anderen Berggebieten ist die mittlere Betriebsgrösse kleiner als jene des schweizerischen Mittels. Schweizweit wurde zwischen 2000 und 2011 eine Abnahme der Anzahl landwirtschaftlichen Betrieb um 18 % festgestellt und es wird vermutet, dass bis 2060 diese um insgesamt 30 % im Vergleich zum Jahr 2010 abnehmen werden. Eine Übertragung der gesamtschweizerischen Werte auf jene des Tessins ergibt eine Abnahme der Betriebe um 37 % im Vergleich zum Jahr 2010.	3

Wald/Wald-wirtschaft	Anzahl Forst-betriebe	Die Anzahl Forstbetriebe ist tendenziell rückläufig. Aufgrund von Zusammenschlüssen und Konzentrationsprozessen reduziert sich die Anzahl der Forstbetriebe im Tessin bis 2060 um ca. 10 %, analog zu den schweizweiten Prognosen für den Waldbereich (EBP/SLF/WSL, 2013a).	3
Wald/Wald-wirtschaft	Bruttopro-duktions-wert	Es ist zu präzisieren, dass die Produktion der Sezione forestale des Kantons Tessin nicht durch den Verkauf und die Verarbeitung des Holzes bestimmt wird, sondern generell von waldwirtschaftlichen Arbeiten. Die Tendenzen entsprechen grundsätzlich jenen der gesamten Schweiz (EBP/SLF/WSL, 2013a).	3
Wald/Waldwirtschaft	Holzpreis	Momentan deckt der Holzpreis die Kosten für das Fällen und Holzrücken nicht. Ohne Subventionen (z.B. Pflegemassnahmen in Schutzwäldern) wären die Beschaffung und der Verkauf von Holz defizitär. Heute ist eine Zunahme der Verwendung von Holz als Energieträger immer bedeutender (Holzstücke, Holzschnitze, Pellets). Es ist wahrscheinlich, dass diese Entwicklung auch in Zukunft anhält. Was die Entwicklung des Holzpreises anbelangt, wird im Tessin eine Zunahme analog zu den schweizerischen Beträgen (+20 %) erwartet (EBP/SLF/WSL, 2013a). Diese wird jedoch von einer Zunahme der Bearbeitungskosten (Fällen und Holzrücken) kompensiert. In Zukunft wird die Differenz zwischen dem Holzpreis und den Produktionskosten weiterhin bestehen, so dass Fällen/Holzrücken und Holzverkauf immer defizitär sein werden.	3
Wald/Wald-wirtschaft	Ökosys-temleistun-gen	Analog zu den schweizweiten Tendenzen (EBP/SLF/WSL, 2013a) wird davon ausgegangen, dass auch im Tessin keine Veränderungen und keine zusätzlichen Einnahmen und Ökosystemleistungen für Waldeigentümer zu erwarten sind (z.B. Schutzleistungen, Wasserspeicherung und -filtrierung oder CO_2-Speicherung).	3
Wald/Waldwirtschaft	Waldpolitik	Die kantonale Waldpolitik des Tessins berücksichtigt grundsätzlich die Prinzipien und Ziele der Waldpolitik der Schweiz 2020. Diese sind im Wesentlichen im kantonalen Waldentwicklungsplan (2006) enthalten. Es wird vermutet, dass dieselben Prinzipien und Ziele auch für den Zeithorizont 2060 gelten werden. Im kantonalen Waldentwicklungsplan werden folgende Hauptziele erwähnt: • Waldfläche bleibt erhalten. Zunahme der Waldfläche in Tallagen und in dicht besiedelten Gebieten. • Die Schutzwaldleistung ist sichergestellt. • Die ökologische Funktion des Waldes ist sichergestellt und wird unterstützt. • Freizeit- und Erholungsnutzung bleibt erhalten. • Holzverwendung aus Tessiner Wäldern fördern, unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitskonzepts.	3

Infrastrukturen und Gebäude	Siedlungsfläche und bebaute Fläche pro Einwohner	Momentan deckt die Siedlungsfläche des Tessins rund 5.6 % des Kantongebiets (2.9 % bebautes Gebiet, 0.4 % Industrieareal und Handwerk, 2 % Verkehrsflächen und spezielle Siedlungsflächen sowie 0.3 % Grün- und Erholungsflächen) ab, was einer Fläche von 158 km^2 entspricht. Bezogen auf das Referenzszenario wird die Siedlungsfläche im Tessin bis 2060 aufgrund des Bevölkerungswachstums (395'700 Einwohner, + 14.2 %) und des wirtschaftlichen Wachstums noch weiter zunehmen (insbesondere die bebaute Fläche für Dienstleistungen). Der kantonale Richtplan fördert, schon seit einigen Jahren, eine konzentriertere Entwicklung neuer Gebäude und einen sparsameren Umgang mit Bauland. Das Ziel dabei ist es, die Siedlungsausbreitung einzuschränken, indem so rational wie möglich mit dem Bauland umgegangen wird. Daraus ergibt sich eine Zunahme der Siedlungsdichte (OST-TI, 2008). In Zukunft wird die Siedlungsfläche im Tessin nur begrenzt ansteigen, da auch die die Grösse der Gebäude zunimmt. Bereits zwischen 2005 und 2013 kam es zu einer Abnahme der bebauten Fläche pro Einwohner um 3.4 % (467.6 m^2/Einwohner im 2005 zu 453.1 m^2/Einwohner im 2013). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in diesem Zeitraum die Tessiner Bevölkerung um 7.5 % wuchs, ergibt dies eine Abnahme der bebauten Fläche pro Einwohner um 0.45 % pro Bevölkerungsanstieg um 1 % (UStat, 2014b). Unter der Annahme, dass die Abnahme der bebauten Fläche pro Einwohner bei zunehmendem Bevölkerungswachstum des Tessins bis 2060 konstant bleibt, ist bei einer Bevölkerungszunahme um 14.2 % mit einer Abnahme der bebauten Fläche pro Einwohner um 6.4 % zu rechnen. Es wird somit erwartet, dass im Jahr 2060 die bebaute Fläche 168 km^2 betragen wird (Zunahme um 6 % im Vergeich zu heute). Die Zunahme im Tessin erweist sich aufgrund der begrenzten flachen Gebiete weniger ausgeprägt, als der schweizweit vermutete Anstieg um 10 % (EBP/SLF/WSL, 2013a).	2
Infrastrukturen und Gebäude	Wohnfläche pro Einwohner	Im Zeitraum 1990 bis 2000 wurde in der Schweiz ein Anstieg des Bedarfs an Wohnfläche pro Einwohner um 33 % festgestellt (von 33 m^2 im Jahr 1990 zu 44 m^2 im Jahr 2000). Die primären Gründe dieses Anstiegs sind der hohe Wohlstand der Bevölkerung und die Abnahme der mittleren Anzahl Personen pro Haushalt. Diese Fläche wird wahrscheinlich auch in Zukunft weiter zunehmen (ARE, 2012). Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 ein Wert von 55 m^2/Einwohner erreicht wird (Anstieg um 25 % in Bezug auf das Jahr 2000). Da keine regionalen Daten zur Verfügung stehen, werden die Daten der Schweiz auch für die Prognose der Entwicklung im Tessin gebraucht. Unter Berücksichtigung der Alterung der Bevölkerung, erscheint es sinnvoll, für das Jahr 2060, die Hypothese bezügl. des Wachstums der Schweiz für das Jahr 2030 anzuwenden. Insgesamt wird somit mit einer Zunahme der Wohnfläche im Tessin um 25 % erwartet (im Jahr 2060 beträgt somit die Wohnfläche 55 m^2 pro Einwohner).	2

Infrastrukturen und Gebäude	Regionale Bevölkerungs-dynamik	Im Tessin liegt der grösste Teil der Siedlungsfläche in Tallagen, wo die Bevölkerungsdichte 2400 Einwohner/km^2 erreicht. 83 % der Tessiner Gebäude verteilten sich auf die Agglomerationen Lugano, Locarno, Bellinzona und Mendrisio-Chiasso. Während den letzten 20 Jahren kam es zu einem Migrationsstrom der in Tälern wohnhaften Personen in Richtung städtische Agglomerationen. Ausserdem war eine Periurbanisierung der Wohnbevölkerung festzustellen, bei der es zu einer Migration von den Zentren der Städte zu den Randgebieten der Agglomerationen kam. Dieser Vorgang ist insbes. für Lugano von Bedeutung, wo die Bevölkerung tendenziell nicht nur in die Peripherie zieht (Capriasca, Basso-, Alto Vedeggio und Malcantone), sondern auch vermehrt in Richtung Mendrisiotto (OST-TI, 2008). Schweizweit wird erwartet, dass bis 2060 die Wohnbevölkerung der städtischen Agglomerationen weiter wachsen wird (im Mittel um 30 %) (EBP/SLF/WSL, 2013a). Im Tessin wird davon ausgegangen, dass bis 2060 die Bevölkerung in Agglomerationen beträchtlich ansteigt, die ländliche jedoch bedeutend weniger.	2
Infrastrukturen und Gebäude	Wert von Gebäuden und mobilen Gütern	Im Tessin betrug im Jahr 2012 das unbewegliche Vermögen (Gebäude und Land) insgesamt 54‘300 Mio. Fr. (UStat, 2014b). In den letzten 15 Jahren wurde eine Zunahme um ca. 12 % dieses Werts festgestellt (im Jahr 2005 betrug der Wert ca. 48‘000 Mio. Fr.). Das sozioökonomische Szenario der Schweiz sieht vor, dass in Zukunft, infolge des Bevölkerungswachstums, neue Gebäude konstruiert werden (EBP/SLF/WSL, 2013a). Zusammen mit dem Anstieg der Gebäude ist auch eine Zunahme der mobilen Güter wahrscheinlich (Inventar, Autos, etc.). Der Baupreis ist im Verlauf des letzten Jahrzehnts signifikant gestiegen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass dieser auch in Zukunft weiter ansteigt. Im Jahr 2060 wird der Wert eines neuen Gebäudes somit höher sein als jener eines neuen Gebäudes von heute. Analog wie gesamtschweizerisch ermittelt, kann von einem Gesamtanstieg des Werts von Gebäuden und mobilen Gütern um ca. 30 % im Vergleich zu heute ausgegangen werden (EBP/SLF/WSL, 2013a).	2
Infrastrukturen und Gebäude	Wert der Transport-infrastrukturen	In den nächsten Jahren wird eine Zunahme der Transportinfrastrukturen erwartet (neue Strassen und Gleise). Durch die Eröffnung der Gotthard- und Ceneri- Basistunnel (Alp-Transit) wird im Tessin das bestehende Netz durch ca. 150 km Gleise erweitert. Dies entspricht ca. der aktuellen Gesamtlänge der im Tessin bestehenden Gleise (Zunahme um 100 %). Bezüglich Autobahnen ist es wahrscheinlich, dass bis 2060 das heutige Netz durch eine ca. 10 km lange Verbindung des Locarnese mit dem bestehenden Autobahnnetz erfolgt (Consorzio BELLO, 2010). Bei den Kantons- und Gemeindestrassen kann mit einer zu der bebauten Fläche proportionalen Zunahme gerechnet werden (+ 6 %). Insgesamt kann von einer Zunahme um 15 % des Werts der Transportinfrastrukturen ausgegangen werden.	3

Wasserwirtschaft	Wasserver- und Entsorgung	Das Bevölkerungswachstum, die Abwanderung aus Tälern (ländliche Gebiete) und die, insbes. in den letzten Jahren festgestellte, Entwicklung der kommerziellen und industriellen Tätigkeiten in Tallagen, führte zu einer Zunahme des Drucks auf Oberflächengewässer und Grundwasser. Dies aufgrund der Einengung der Flussbette, die exzessive Zubetonierung, die intensive landwirtschaftliche und industrielle Nutzungen sowie die grossflächigen Bodenversiegelungen. Infolge des Bevölkerungswachstums und der Zunahme der bebauten Fläche in der Nähe der Städte wird sich diese Problematik weiter vergrössern. Um eine bessere Koordinierung zwischen der räumlichen Entwicklung und dem Wasserbedarf zu ermöglichen, sieht der Kanton Tessin vor, die Wasserwirtschaft einheitlicher und für grössere Gebiete zugänglich zu machen. Die Installation neuer Wasserleitungen, welche die einzelnen Verbraucher untereinander verbinden, wird eine bessere Abschätzung der Gesamtnachfrage erlauben. Diese soll mit Quellen gestillt werden können. Die neue Strategie - bereits im Gang - wird z.B. erlauben, Probleme bezüglich dem Wasserverbrauch während sommerlichen Trockenperioden zu lösen. Um auch die Qualität des Wassers im Wasserkreislauf zu gewährleisten, hat der Kanton Tessin vor, Mischkanalisationen zu reduzieren. Das bedeutet, dass Regenwasser nicht mehr in Kanalisationen, sondern direkt in den natürlichen Untergrund eingeleitet wird (dies ist bedeutend, um die Wasserqualität zu sichern). Was die Entsorgung des Wassers anbelangt, kann vermutet werden, dass in Zukunft die Wasseraufbereitung verbessert wird. Wenn die Qualität des aufbereiteten Wassers den nötigen Standard erreichen wird, ist es möglich, dass dieses direkt zur Wasserversorgung verwendet wird und nicht in Oberflächengewässer geleitet wird (CDV, S. Quarenghi). Diese Entwicklung würde eine weniger intensive Nutzung der Trinkwasserquellen (Grundwasser, Quellen, Seen) erlauben, welche dadurch eine längere Regenerationszeit aufwiesen.	2
Wasserwirtschaft	Thermische Nutzung der Seen	Im Tessin wird zum heutigen Zeitpunkt das Wasser der Seen nur begrenzt für thermische Zwecke genutzt. Es handelt sich dabei um das Industriewassernetz der AIL, das zur Kühlung von einigen Datenzentren und Computern des Swiss National Supercomputing Centre (Centro Svizzero di Calcolo Scientifico, CSCS) genutzt wird. Analog der in den letzten 20 Jahren beobachteten Tendenzen kann davon ausgegangen werden, dass die thermische Nutzung (mittels Wärmepumpen) der Seen in Zukunft zunimmt, dies auch in Zusammenhang mit der kantonalen Energieplanung.	
Wasserwirtschaft	Regulierung der Seepegel	Das hydrologische Einzugsgebiet des Lago Maggiore umfasst zu nahezu gleichen Teilen die Schweiz und Italien, während die Seeoberfläche zu 80 % auf italienischem Gebiet liegt. Das Einzugsgebiet des Luganersees ist ein Untereinzugsgebiet des Lago Maggiore. Dessen Fläche liegt zu 60 % im Tessin und zu 40 % in der Lombardei. Die beiden Einzugsgebiete sind durch den Fluss	2

Tresa (Vorfluter des Luganersees) miteinander verbunden. Der Vorfluter des Lago Maggiore ist der Fluss Tessin, der in der Nähe von Pavia in den Po mündet.
Die Pegel beider Seen werden durch deren Vorfluter reguliert. Die Regulierung (durch ein Abkommen zwischen der Schweiz und Italien und bedingt durch einenoberen Grenzwert) hat eine Optimierung des Seewassergebrauchs als Ziel. Momentan ergeben sich die wichtigsten Interessen in Zusammenhang mit der hydroelektrischen Stromproduktion, der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen und aufgrund von Überschwemmungen der Seen und Vorfluter.
Die heutige Regulierung der Seen wurde ca. Mitte des letzten Jahrhunderts definiert und berücksichtigt somit die neuen Interessen nicht (z.B. Aspekte in Zusammenhang mit Naturschutz).
Das Projekt STRADA (Strategie d'adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero; auf deutsch: Strategie zur Anpassung an den Klimawandel zur Steuerung natürlicher Risiken im grenzüberschreitenden Gebiet) hat das Ziel, mittels einer Zusammenarbeit zwischen der Schweiz und Italien, eine neue Regulierung der südalpinen Seen zu bestimmen. Diese soll unter Berücksichtigung aller Interessen und auf der Basis des aktuellen technischen Standes erfolgen. Das Projekt wurde im Zeitraum 2010 - 2013 durchgeführt. In Abbildung 83 sind alle Interessensgebiete, die im Projekt berücksichtigt worden sind, aufgezeigt. Während der Studienphase wurden auch die Änderungen im Abflussregime und die Seepegel, welche durch den Klimawandel beeinflusst werden, berücksichtigt.

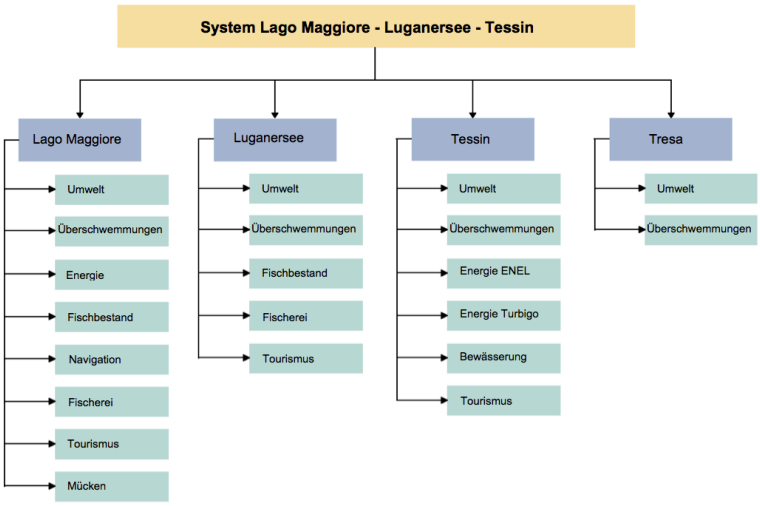


Abbildung 83: Interessengebiete der verschiedenen Parteien im Projekt STRADA (Salvetti, 2014).

Dank des Projekts STRADA wurde eine Variante für das Management mit dem Luganersee erarbeitet, die möglichst alle Interessen der involvierten Parteien berücksichtigt. Diese Variante erlaubt es, die Abflüsse der Tresa so zu regeln, dass sie zu einem grossen Teil den Nutzen der Interessengebiete des Lago Maggiore vergrössern. Die gewählte Alternative für den Umgang mit dem Lago Maggiore beinhaltet ein neues Projekt bezüglich des Stau-

		ens des Flusses Tessin, welches ermöglicht, im Vergleich zum heutigen Stausystem, mehr Wasser in den Vorfluter zu leiten und somit Vorteile im Umgang mit der Überschwemmungsproblematik bringt. Diese Alternative wird die heutige Situation verbessern. Es ist jedoch zu erwähnen, dass sie auch Nachteile in Zusammenhang mit Überschwemmungen des Flusses Tessin südlich des Lago Maggiore mit sich bringt. Diese könnten insbesondere die Stadt Pavia treffen (Salvetti, 2014). Infolge dieser Verbesserungen kann davon ausgegangen werden, dass die Überschwemmungen der Seen im Tessin um 12 % abnehmen könnten (ohne Berücksichtigung des Klimawandels).	
Tourismus	Übernachtungen	Im Tessin wurden im Jahr 2012 2.3 Mio. Übernachtungen im Gastgewerbe registriert. Im Zeitraum 1980 bis 2012 kam es jedoch zu einem starken Rückgang um 31 % der Anzahl Übernachtungen (-1.5 Mio. Übernachtungen zwischen 1981 und 2010). Diese Abnahme könnte teilweise mit nachfolgenden sozioökonomischen Faktoren zusammenhängen: die Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels, die Wirtschaftskrise und die Einführung des Euros. Gleichzeitig kam es in den letzten 30 Jahren zu einer Abnahme der mittleren Aufenthaltsdauer von drei auf etwas mehr als zwei Tage (Besomi, 2015). Die Gesamtanzahl Übernachtungen im Tessin (inkl. Übernachtungen in Gruppenherbergen, Berghütten, Campings, Ferienwohnungen, bei Freunden und Bekannten oder in Spitälern) lag im 2012 hingegen bei 8.2 Mio. (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Von diesen sind 4.1 Mio. auf Übernachtungen in Ferienwohnungen, bei Familienangehörigen und in Spitälern zurückzuführen. Es ist ausserdem zu erwähnen, dass ab 1980 (Jahr der Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels) die Anzahl Übernachtungen im Tessin drastisch abnahm. Die bessere Erreichbarkeit des Tessins von der Deutschschweiz aus (Gebiet, deren Touristen im Tessin den grössten Teil ausmachen) hat den Tagestourismus (oder Aufenthalt von nur wenigen Tagen) und die Reisen von Norditalien aus begünstigt. Im Jahr 2060, wird aufgrund des Gotthard-Basistunnels (Eröffnung im Jahr 2016) die Erreichbarkeit des Tessins weiter erleichtert, wodurch der Tagestourismus weiter ansteigen könnte. Ohne angemessene Strategie werden dadurch die Übernachtungen im Gastgewerbe weiter abnehmen. Infolge der Eröffnung des Gotthard-Basistunnels (AlpTransit) kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl Übernachtungen weiter abnehmen wird. Die relative Abnahme wird jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit geringer sein, als die in den letzten 35 Jahren beobachtete, da ein Teil der Tagestouristen sich für eine Übernachtung im Tessin entscheidet. Ausserdem wird die Abnahme der Übernachtungen durch das Bevölkerungswachstum der Schweiz und des Tessins (ca. + 14 %) abgeschwächt. Zwischen 2010 und 2060 kann im Tessin von einer Abnahme der Übernachtungen im Gastgewerbe um 15 % ausgegangen werden (das jährliche Mittel wird möglicherweise bei rund 2 Mio. Übernachtungen liegen).	3

		Da die Übernachtungen in Zweitwohnungen, bei Familienangehörigen oder Bekannten und in Spitälern nicht von den neuen Bahnlinien beeinflusst werden, wird davon ausgegangen, dass diese Übernachtungen nicht abnehmen werden, während die Übernachtungen in Campings, Alphütten und Gruppenunterkünften (ohne Hotels) eine Abnahme von ebenfalls 15 % aufweisen werden. Insgesamt wird somit geschätzt, dass es zu einem Rückgang der Anzahl Übernachtungen um 7 % kommen wird (der jährliche Durchschnitt aller Übernachtungen wird bei ca. 7.6 Mio. liegen).	
Tourismus	Nachfrage	Im Jahr 2012 wurden im Tessin mehr als 21.3 Mio. Touristen registriert. Von diesen übernachteten 39 % (in Hotels, Gruppenunterkünften, Berghütten, Campings, Ferienwohnungen, Spitäler/Kliniken, Schulinstitute oder bei Bekannten / Familienangehörigen), 20 % waren Tagestouristen und 41 % Touristen welche fürs Einkaufen, Casino oder zur Durchfahrt einreisten (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Die gute Zugänglichkeit des Tessins infolge der Eröffnung des AlpTransit könnte nebst der negativen Beeinflussung der Übernachtungszahlen, den Tagestourismus (oder den Tourismus weniger Tage), vor allem im Winter oder Herbst (Jahreszeiten, wo bereits heute verglichen mit der restlichen Schweiz höhere Temperaturen herrschen) fördern. Die Eröffnung des Lötschberg-Basistunnels führte z.B. zu einem starken Anstieg der Tagestouristen, vor allem Berner, in den Skigebieten Zermatt und Saas-Fee. Die bessere Erreichbarkeit des Tessins mittels öffentlichen Verkehrsmitteln zu ansprechenden Preisen (z.B. mittels Halbtax oder GA) wird den Touristen aus der Deutschschweiz erlauben, spontan das Tessin zu bereisen (auch für nur einen halben Tag). In diesen Fällen werden die meteorologischen Bedingungen eine wichtige Rolle spielen. Ausserdem ist zu erwähnen, dass der Ceneri-Basistunnel (AlpTransit) die Mobilität innerhalb des Kantons vereinfacht (rasche Verbindungen zwischen den Städten Bellinzona, Locarno und Lugano), was auch von den Touristen sehr geschätzt werden wird. Die zuständigen kantonalen Stellen (Amt für Wirtschaft und Tourismus, Regionalentwickler etc.) investieren schon seit einigen Jahren in die Förderung des Tessiner Tourismus. Die Resultate dieser Kampagnen machen sich seit einigen Jahren bemerkbar. In Bellinzona wurden, dank der engen Zusammenarbeit mit dem Kanton, mehrere Projekte zur Förderung des Tourismus realisiert. Generell haben diese Projekte zum Ziel, den bisherigen Tourismus (Deutsche und Deutschweizer) sowie einen neuen Tourismus, wie der asiatische (ist bereits in einigen Regionen des Kantons von Bedeutung) zu unterstützen. Eine weitere Chance für den zukünftigen Tessiner Tourismus ergibt sich aus dem Bevölkerungswachstum des Tessins (+ 14.2 % bis 2060). Dieses könnte in der Tat den Tagestourismus von den einheimischen Personen fördern. Es wird somit vermutet, dass bis 2060 die Tourismus-Nachfrage (inkl. übernachtende Touristen) im Tessin annhähernd konstant bleibt.	3

Tourismus	Wirtschaftliche Bedeutung	Die klimatischen Bedingungen, die landschaftliche Vielfalt, der Reichtum von kulturellen Gütern und die Qualität der Beherbergungen machen das Tessin zu einem der wichtigsten Touristenziele der Schweiz. Momentan stellt der Tourismus einen der wichtigsten ökonomischen Einnahmequellen des Tertiärsektors im Kanton Tessin dar und trägt mit 9.6 % zum kantonalen BIP bei (Stand 2012). Die Gesamtbeschäftigungsquote im Tourismus entspricht 12 % (Vollzeitäquivalent). 9.1 % der Bruttowertschöpfung des Tourismus ist auf die Dienstleistung von Unterkünften, 6.3 % auf Restaurants und 5.7 % auf Transporte zurückzuführen (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Generell kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil des Tourismus am Tessiner BIP auch in Zukunft mit rund 9.5 % wichtig bleibt (die leichte Abnahme besteht aufgrund des möglichen Rückgangs der Übernachtungen).	3
Tourismus	Tourismustypen	Momentan existieren im Tessin 13 Skigebiete (6 davon weisen mehr als einen Skilift auf). In den letzten 15 Jahren sind die Kosten für die künstliche Beschneiung, die Präparierung der Pisten, den Rettungsdienst, die künstliche Auslösung von Lawinen und für die Sicherheit beträchtlich gestiegen. Der grösste Teil der Touristen profitiert von ermässigten Preisen, welche für die Skigebiete ungünstig sind (prinzipiell handelt es sich um Tessiner-Tagestouristen). Alle Skigebiete des Tessins weisen somit ein Verlustgeschäft auf. Diese Situation wird sich in Zukunft, infolge der Kosten durch die Erneuerung der Skilifte, weiter verschlechtern (im Mittel weisen die Skilifte ein Alter von fast 17 Jahren auf). Bei diesen Bedingungen sind alle Skigebiete in einer finanziellen Notlage. Eine mögliche zukünftige Strategie zur Lösung der Problematik ist der Unterhalt (mit der Hilfe von staatlichen Subventionen) des wichtigsten Skigebiets (und evtl. eines zweiten) und die mittelfristige Stilllegung der restlichen Skigebiete. Es wird davon ausgegangen, dass das wichtigste Gebiet Airolo ist (grösstes Skigebiet des Tessins), während das eventuelle zweite Gebiet Bosco Gurin oder Nara wäre (Zegg, Küng, Bachmann, & Hubert, 2008). Die Schliessung von Skigebieten wird als Folge Kosten zum Abbau der Anlagen, Arbeitsplatzverluste und Abschreibungen in den betroffenen Ferienorten verursachen. Unter der Annahme, dass bei den Skigebieten Airolo und Bosco Gurin die Erträge um 10 % steigern und die restlichen Gebiete schliessen werden, wird bei den Skigebieten insgesamt von Ertragseinbussen um 48 % ausgegangen. Im Gegensatz zum Wintertourismus nimmt im Tessin der Markt der Sommer-Ausflugsziele zu. Bei diesen sind zudem nicht dringend Wartungsarbeiten nötig. Zurzeit werden diese jedoch noch von vielen verschiedenen Unternehmen geführt. Um eine zu hohe Anzahl ähnlicher Anlagen zu vermeiden, wird der Kanton in Zukunft möglicherweise Fusionen fördern, so dass ein effizienteres einheitliches Marketing ermöglicht wird und somit die administrativen Kosten gesenkt werden. Dadurch ist mit Mehrerträgen zu rechen (Zegg, Küng, Bachmann, & Hubert, 2008). Es ist somit davon auszugehen, dass die Erträge bis 2060 um 10 % steigen	3

		werden. Schweizweit ist davon auszugehen, dass der Städtetourismus auch in Zukunft relevant sein wird. Es wird somit angenommen, dass im Tessin der Tourismus in den Städten und den Gebieten in Seenähe bis 2060 stabil bleibt (EBP/SLF/WSL, 2013a).	
Energie	Energie-verbrauch	Der Energieverbrauch wird mittelfristig weiter ansteigen, langfristig jedoch abnehmen. Obwohl eine steigende Energieeffizienz im Gange ist, wird die Energienachfrage zunächst ansteigen. Die Gründe liegen im Bevölkerungswachstum, der Zunahme der Siedlungsfläche, der steigenden Mobilität und dem Konsum. Langfristig werden die Verbesserung in der Effizienzzunahme, die technischen Massnahmen sowie politische Entscheide zu einer Abnahme des Energieverbrauchs führen. Das Konsumverhalten im Kanton Tessin wurde im Rahmen der Erstellung des kantonalen Energieplans eingehend untersucht (DT/DFE, 2010). Es wird jährlich von der Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana aktualisiert (SUPSI, 2014). Letztere hat für das Jahr 2013 einen Gesamtverbrauch von 10'265 GWh ermittelt, von denen 3'185 GWh auf den Stromverbrauch zurückzuführen sind. Der Gesamtverbrauch ist in verschiedene Branchen unterteilbar, von denen die Haushalte (insbes. Heizung) mit 3'227 GWh, der Verkehr mit 2'821 GWh, Gewerbe und Industrie mit 1’567 GWh und der Handel und Dienstleistungen mit 1'509 GWh die wichtigsten darstellen. Im Rahmen des kantonalen Energieplans wurden auch Aktionspläne definiert, um nach Verbrauchergruppe unterteilte Reduktionsziele zu erreichen: 30 % für die Klimatisierung von Gebäuden (Heizung und Kühlung), 35 % für den Verkehr, 33 % für Handel und Dienstleistungen und 20 % für die Produktionsprozesse.	1
Energie	Kantonale Strom-produktion	Der Kanton Tessin ist ein wichtiger Stromproduzent. Speziell bedeutend ist der hydroelektrische Sektor, in dem 31 Wasserkraftwerke grosser und mittlerer Leistung (> 300 kW) im Jahr 2013 4'068 GWh erneuerbare Energie produzierten. Dieser Wert liegt etwas über dem langjährigen Mittel von 3‘664 GWh pro Jahr. In der vorliegenden Analyse wurde die gesamte kantonale hydroelektrische Produktion berücksichtigt, unabhängig von den Konzessionen. Heute spielen die anderen erneuerbaren Energiequellen (kleine hydroelektrische Anlagen, Laufwasserkraftwerke und Fotovoltaikanlagen) eine untergeordnete Rolle (28.2 GWh im Jahr 2013). Wichtig zu erwähnen ist zudem die Tatsache, dass 128 GWh pro Jahr (Referenzjahr 2013) des Stroms in Wärmekraftkopplungsanlagen erzeugt werden.	1
Energie	Wasser-kraftpoten-tial	Das Potential - physisch und umweltbezogen - des Ausbaus der Nutzung von Wasserressourcen wurde ebenfalls im kantonalen Energieplan untersucht. Dank Subventionen für die Zufuhr von Energie aus erneuerbaren Quellen wurden diverse kleine Wasserkraftwerke geringer Leistung geplant, sogenannte „Kleinstwasserkraftwerke“. Momentan produziert eine solche Anlage im Schnitt ca. 2.5 GWh/Jahr. Auch das Restpotential von grossen Wasserkraftwerken wurde im kantonalen Energieplan analysiert. Unter Anwendung der gleichen	1

		Kriterien, wie von einer vom Bundesamt für Energie geleiteten Studie, wurde ein Potential von 135 GWh ermittelt. Dieses kann durch einen Ersatz oder Renovation der bestehenden Turbinen und Generatoren erreicht werden, wodurch eine Leistungssteigerung und kürzere Betriebsausfälle bewirkt werden. Die Stromproduktion mittels Wasserkraftwerken steht vermehrt divergierenden Interessen bezüglich der natürlichen Ressource Wasser gegenüber (Fischerei, Gewässer-, Natur-, Landschaftsschutz, Erholungsgebiete). Dies erfordert eine umfassende Abwägung aller Interessen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass nach den Erneuerungen der Konzessionen die Regelungen so einzuhalten sind, dass die Restwassermengen gesichert sind (Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, GSchG). Die Restwassermengen werden auf der Basis der natürlichen Hydrologie der Fliessgewässer bestimmt. Der Kanton kann allerdings in bestimmten Fällen, unter Berücksichtigung der Interessen, Abweichungen zulassen. Aus diesen Gründen erscheint es schwierig, Auswirkungen der Anwendung des GSchG, zur Zeit der Erneuerung der Konzessionen, auszuwerten. Im kantonalen Energieplan wurde geschätzt, dass der Produktionsverlust infolge der Anwendung des GSchG zwischen 5 % und 14 % liegt. Dies entspricht im Mittel einem Gesamtverlust von ca. 350 GWh pro Jahr.	
Energie	Entwicklungspotential der erneuer-baren Energien	Im Rahmen des kantonalen Energieplans wurde das Entwicklungspotential erneuerbarer Energiequellen ermittelt und dabei folgende Ziele (für die elektrische Energie) festgelegt, die bis 2050 erreicht werden müssen: • 80 GWh für Windkraftanlagen; • 280 GWh für Photovoltaikanlagen; • 27 GWh für Biomassekraftwerke. Die Zunahme der Fotovoltaikanlagen mit dem gleichzeitig erwarteten Anstieg der zukünftigen Sonnenstunden könnte teilweise den zunehmenden Energiebedarf im Sommer zur Kühlung von Gebäuden (unter den zukünftigen Klimaszenarien prognostiziert) kompensieren.	2
Energie	Energiekosten	Die Stromtarife der Schweiz variieren heute und in Zukunft je nach Kanton und Gemeinde. Im Mittel belaufen sich die Stomkosten für den Endverbraucher auf ca. 16 Rp. Pro kWh, von denen mehr als 50 % auf Steuern und Netzkosten fallen. In Zukunft ist aus oben genannten Gründen mit einer Erhöhung der Energiekosten zu rechnen. Bis 2060 kann angenommen werden, dass die Stromkosten für den Endverbraucher bei 20 Rp./kWh liegen. Der Preis der Energieträger für Heizzwecke (Heizöl und Erdgas) sowie jener für Benzin und Diesel ist stark vom Erdölpreis abhängig. Dieser steigt von 34 $/bbl. im Jahr 2009 auf ca. 83 $/bbl. im Jahr 2050 (+144 %) (IEA, 2011).	3
Energie	Strompreis	Im Verlauf der vergangenen Jahre nahm der Marktpreis von Strom stark ab. Experten gehen davon aus, dass er mittelfristig weiterhin tief bleibt. Dies aus folgenden Gründen: • Geringerer Verbrauch aufgrund - des zurückhaltenden kurz- bis mittelfristigen wirtschaftlichen Wachstums,	3

		- der Energiepolitik in allen institutionellen Ebenen, welche immer mehr auf Sparmassnahmen und die Umwelt ausgerichtet sind; • Überfluss von Elektrizität, auch infolge der grossen Subventionen für neue erneuerbare Energien auf dem eruopäischen Markt. Im Verlauf des Jahres 2014 haben die Aziende industriali Luganesi (AIL, 2014) eine Projektion der möglichen Entwicklung der Energiepreise abgeschätzt. Die Resultate können folgendermassen zusammengefasst werden: • Kurzfristig bis 2018 werden die Preise tief bleiben, dies aufgrund der Wirtschaftskrise, der Förderung von erneuerbaren Energien und der tiefen CO_2 - Steuer; • Ab 2018 kommt es zu einem Anstieg der Preise aufgrund des Anstiegs der Produktion von fossilen Brennstoffen und damit der Zunahme der CO_2- Emissionen und der CO_2 - Steuer; • Danach werden sich die Preise aufgrund der abnehmenden Nachfrage (Auswirkung besserer Energieeffizienz), der Zunahme der erneuerbaren Energiequellen und der Stagnierung der CO_2 – Steuer, wieder stabilisieren, • Ab 2035, infolge des schweizweiten Atomausstiegs und des Anstiegs der Produktion erneuerbarer Energien, werden die Preise sinken. Die vermutete Zunahme des Energiepreises um 4 Rp. Ist auch für den Strompreis denkbar (angenommen die Steuern variieren nicht). Es wird somit vermutet, dass im Jahr 2060 der Strompreis von heute 8 Rp./kWh auf 10 Rp./kWh steigt (+ 50 %).	
Biodiversität[10]	Entwicklung der Biodiversität in der Schweiz	Die Biodiversität der Schweiz steht unter Druck: Die Hälfte der Lebensräume und ein Drittel der Arten sind gefährdet. Mit dem Rückgang der Arten nimmt auch die genetische Vielfalt ab. Der Zustand der Biodiversität im Jahr 2060 wird in erster Linie von den Faktoren abhängen, welche die Abnahme von Lebensräumen und deren Beeinträchtigung verursachen. Nebst dem Klimawandel hat das BAFU weitere Faktoren definiert, die oft gleichzeitig auftreten und dadurch die Biodiversität der Schweiz beeinträchtigen (BAFU, 2015d): Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung, die Aufgabe extensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen, die Fragmentierung von Lebensräumen, die Schadstoffbelastungen, gebietsfremde invasive Organismen, der nicht nachhaltige Gebrauch von Boden und anderer Ressourcen. Um dem Rückgang der Biodiversität entgegenzuwirken, hat der Bundesrat im Jahr 2012 die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) in Auftrag gegeben. Mittels dieser Strategie soll folgendes Oberziel erreicht werden: „Die Biodiversität ist reichhaltig und gegenüber Veränderungen reaktionsfähig. Die Biodiversität und ihre Ökosystemleistungen sind langfristig erhalten“ (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2012). Mittels der Anwendung und der Inkraftsetzung eines Aktionsplans für die Umsetzung der Strategie sollen, unter der Prüfung durch die Kantone, die für die Errei-	3

[10] In Kapitel 5.9.6 findet sich ein Glossar der Fachbegriffe des Auswirkungsbereichs Biodiversität.

		chung der Ziele herbeigezogen werden, einige Ursachen des Rückgangs der Biodiversität abgemildert werden. Als Ziele sind z.B. folgende zu erwähnen: nachhaltiger Umgang mit der Biodiveristät, die Realisierung einer ökologischen Infrastruktur, eine Verbesserung der Lebensbedingungen national bedeutender Arten und der Schutz und die Förderung genetischer Vielfalt (BAFU, 2012b). Die vorgeschlagenen Massnahmen berücksichtigen einerseits eine Reduktion der schädlichen Nutzungen, den Schutz von gefährdeten Arten und die Sensibilisierung der Bevölkerung. Zudem sollen geschützte Gebiete und ökologische Korridore ausgeschieden werden. Die Massnahmenpakete sollen bis 2040 ausgeführt werden (BAFU, 2015b). Trotz diesen Massnahmen ist absehbar, dass sich zahlreiche Faktoren, die heute die Biodiversität beeinträchtigen, in den kommenden Jahrzehnten weiter verstärken. Infolge des Bevölkerungswachstums (395‘700 Einwohner resp. + 14.2 % im Jahr 2060) und der daraus sich ergebenden Zunahme des Bedarfs an Fläche und Mobilität, ist davon auszugehen, dass der nicht nachhaltige Umgang mit dem Boden und weiteren Ressourcen, sowie die Fragmentierung der Lebensräume weiter fortschreitet. In Anbetracht der Zunahme von neuen gebietsfremden Arten, ist davon auszugehen, dass die Verbreitung invasiver Arten weltweit beträchtlich zunimmt (Essl & al., 2011). Ausserdem werden in der Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) die „Gefahren“ wie Schadstoffbelastungen oder Änderungen der Systeme der landwirtschaftlichen Produktion (Brachlegung und Intesivierung) für die Biodiversität nicht direkt angegangen. Es wird angenommen, dass die Entwicklung in Richtung weitere Abnahme der Biodiversität fortschreitet. Aufgrund des Bevölkerungswachstums ist auch eine weitere Abnahme der Oberfläche von wertvollen Biotopen wie Moore, Feucht- und Nasswiesen, Trockenwiesen und -Weiden zu erwarten.	
Biodiversität[10]	Entwicklung der Biodiversität im Tessin	Wie in der restlichen Schweiz ist auch im Tessin die Biodiversität unter Druck und wahrscheinlich wird diese Entwicklung auch in Zukunft, aufgrund der zahlreichen negativen Auswirkungen, so weiter gehen. Die Entwicklung der sozioökonomischen Faktoren, welche die Biodiversität beeinträchtigen, wird regional unterschiedlich verlaufen. Der Druck in Tallagen wird weiter ansteigen, während jener in höheren Lagen gleich bleibt oder gar abnimmt. Zum Talboden gehören im Tessin jene Gebiete, welche unter 500 m ü. M. liegen (OST, 2015). Diese machen zwar bloss 14.4 % der Kantonsfläche aus, jedoch sind rund 90 % der Bevölkerung und 94 % der Arbeitsplätze in diesen Gebieten angesiedelt. Der grösste Teil natürlicher Lebensräume wie Fliessgewässer, Seeufer, Feucht- und Nasswiesen, Auengebiete und Trockenwiesen (Cotti & al., 1990) (Cotti & al., 1997)) liegen hauptsächlich in diesen Talböden. Durch die forschreitende Urbanisierung und die Fertigstellung grosser Infrastrukturen (z.B. AlpTransit, Strassenverbindung zwischen Cadenazzo und Locarno, die im Verkehrsplan Luganos vorgesehenen Massnahmen) werden die negativen Auswirkungen auf die Biodiversität unausweichlich zunehmen. Letztere ergeben sich in Zusammenhang mit der Fragmentierung	3

		des Gebiets (Isolierung von Lebensräumen), der Umweltverschmutzung, der störenden menschlichen Einflüsse und der Freizeitaktivitäten in der Natur. Ausserdem spielen auch die Brachlegung von extensiv genutzten Landwirschaftsflächen und deren Strukturen eine Rolle (z.B. für die Fauna zugängliche Dachstöcke, Trockenmauern, Terrassierungen, Hochstamm-Obstgärten und alte Bäume mit Hohlräumen). Eventuelle grosse Renaturierungs-Projekte von Flüssen in Tallagen des Tessins, in Kombination mit der Änderung der Abflüsse in Wasserkraftwerken und deren Sanierungen, unter Berücksichtigung der Restwassermengen, würden die oben beschriebene zukünftige Entwicklung zumindest teilweise abschwächen. Die Gebiete oberhalb von 500 m ü. M. machen 85.6 % der Kantonsfläche aus. Hier finden sich die Wälder der höheren kollinen, der montanen und subalpinen Stufe und die Wiesen und Weiden der alpinen und nivalen Stufe (Beggipfel und perennierender Schnee) (Cotti & al., 1990) (Cotti & al., 1997). Bereits ab den 1950-er Jahren wurde eine Beschleunigung der Ausbreitung der Waldfläche im Kanton Tessin festgestellt (Ceschi, 1993), dies betraf insbesondere die Waldflächen oberhalb von 800 m ü. M., welche im Jahr 2006 52.8 % der Fläche des Tessins ausmachten (Ceschi, 2014). Die Zunahme der Waldfläche im Berggebiet findet generell auf Kosten von extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen (Heuwiesen, Weiden, Felder, Obstgärten, Selven, Heimweiden und alpine Weiden) statt. Dadurch kommt es zu einer Abnahme taxonomischer Gruppen und Landschaften, die von einer landwirtschaftlichen Nutzung geprägt sind. Andererseits findet ein Wandel hin zu verwilderten Gebieten statt (Ceschi, 2014), deren grosse Flächeneiner natürlichen Entwicklung und praktisch keinen menschlichen Einflüssen unterliegen. Die Alterung der Waldbestände, die Zunahme der natürlichen Dynamik und die Entstehung von grossflächigen, ungestörten Gebieten führen auch zu einem Anstieg der in diesen Lebensräumen vorkommenden Arten (z.B. die Rückkehr von grossen Predatoren und die erfolgreiche Wiederansiedlung des Bartgeiers). Insgesamt ist es denkbar, dass der Verlust der Biodiversität infolge der Aufgabe traditioneller landwirtschaftlicher Nutzungen zumindest teilweise durch den Anstieg von natürlichen Flächen kompensiert wird. Diese Entwicklung wird auch durch die zahlreichen, bereits ausgeschiedenen und geplanten Waldreservate und die mögliche Entstehung des Nationalparks des Locarnese sowie des Parks Adula gefördert. Hingegen ist mit einer Zunahme der anthropogenen Belastung infolge der Freizeitaktivitäten in leicht zugänglichen Gebieten (über Strassen oder Seilbahnen) zu rechnen.	

4.7. ZUSAMMENSTELLUNG DER ANALYSIERTEN SZENARIEN

In der vorliegenden Studie werden die Risiken und Chancen der in Abbildung 84 gezeigten Szenarien analysiert.

Zu Beginn wird die aktuelle klimatische und sozioökonomische Situation beschrieben. Bei der Auswertung der zukünftigen Szenarien 2060 (schwach und stark) werden die Risiken und Chancen unter Beibehalten der heutigen sozioökonomischen Situation analysiert (heutige Preise, heutiges Niveau der thermischen Sanierung von Gebäuden, heutige Bevölkerungsverteilung etc.).

Um auch die zukünftigen sozioökonomischen Änderungen (2060) zu berücksichtigen, werden die Risiken und Chancen sämtlicher Auswirkungsbereiche in einem zukünftigen sozioökonomischen Szenario unter Beibehalten des heutigen Klimas untersucht.

Das Hauptziel der vorliegenden Studie besteht darin, die Risiken und Chancen welche mit dem Klimawandel zusammenhängen, zu untersuchen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Studie mittels den aktuellen sozioökonomischen Szenarien durchgeführt wird (einzige Variation im 2060 ist das Klima). Um die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken und Chancen besser einzuordnen, muss auch das zukünftige sozioökonomische Szenario berücksichtigt werden. Dieses beinhaltet nämlich die sozioökonomischen Änderungen, welche langfristige und sogar noch relevantere Auswirkungen als die klimatischen Änderungen haben können. So können die sozioökonomischen Veränderungen unabhängig von der Klimaentwicklung beurteilt werden. Diese Aufteilung erlaubt es auch die Unsicherheiten zu begrenzen.

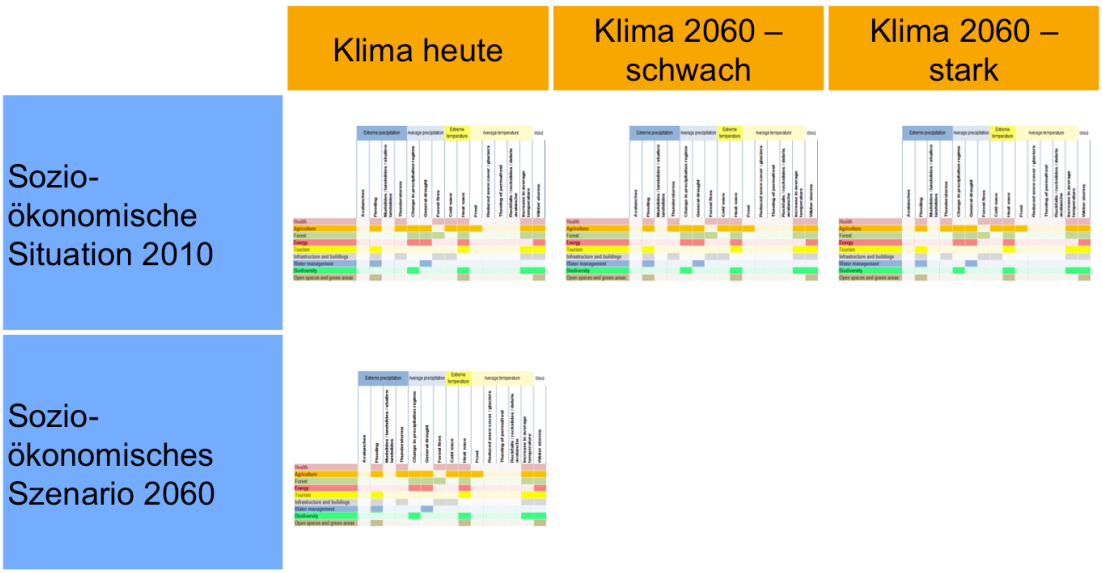


Abbildung 84: ***Die in dieser Studie analysierten Szenarien. Die Untersuchung der Klimaszenarien geschieht unter Beibehalten der heutigen sozioökonomischen Situation (Bevölkerung, Gebäudestruktur, Waldfläche etc.) während das sozioökonomische Szenario unter Beibehalten des heutigen Klimas analysiert wird.***

5. RISIKEN UND CHANCEN DES KLIMAWANDELS PRO AUSWIRKUNGSBEREICH

5.1. RELEVANZMATRIX

	Starkniederschläge					Mittlere Niederschläge			Extremtemperatur			Mittlere Temperatur				Wind
Gefahr/Effekt:	Schneelawinen	Starkschneefälle	Hochwasser	Mure/Erdrutsch/Hangmure	Gewitter/Hagel	Änderung im Niederschlagsregime	Allgemeine Trockenheit	Waldbrand	Kältewelle	Hitzewelle	Frost	Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Steinschlag/Fels-/Bergsturz	Veränderung Mitteltemperatur	Sturm/Orkan
Auswirkungs-bereich																
Gesundheit																
Landwirtschaft																
Wald/Waldwirtschaft																
Infrastrukturen und Gebäude																
Wasserwirtschaft																
Tourismus																
Energie																
Biodiversität																

Sehr relevant, quantitative Analyse
Sehr relevant, qualitative Analyse
Relevant, quantitative Analyse
Relevant, qualitative Analyse
Nicht relevant

Tabelle 41: Relevanzmatrix mit einer Gesamtübersicht der Gefahren und Effekte pro Auswirkungsbereich.

Entsprechend der vom BAFU definierten Methode (EBP/SLF/WSL, 2013) hat die Arbeitsgruppe gemeinsam mit den Expertinnen und Experten zunächst diejenigen Schnittstellen zwischen den Auswirkungsbereichen und den Gefahren/Effekten aussortiert, welche für den Kanton Tessin nicht relevant sind, weil keine Voraussetzungen für deren Auftreten bestehen. Die übrigen Schnittstellen werden mit folgenden Fragen auf ihre Relevanz geprüft:

1. Hat die Gefahr resp. der Effekt beträchtliche Auswirkungen auf den Bereich?
2. Sind die möglichen Auswirkungen der Gefahr/des Effektes so gross, dass sie im Vergleich zu anderen Auswirkungen massgebend sind?

Die geprüften Schnittstellen zwischen Gefahren/Effekten und Auswirkungsbereichen werden entsprechend der vom BAFU eingeführten Methode drei Kategorien zugeordnet:

Nicht relevant

Auf der Basis der heutigen Kenntnisse kann man ausschliessen, dass die/der mit dem Klimawandel verbundene Gefahr/Effekt bemerkbare Auswirkungen auf den jeweiligen Auswirkungsbereich hat. Die nicht relevanten Schnittstellen sind in der Relevanzmatrix in weiss dargestellt.

Relevant

Als relevant werden diejenigen Schnittstellen zwischen einer/s Gefahr/Effekts und eines Auswirkungsbereichs bezeichnet, die Risiken und/oder Chancen für den jeweiligen Auswirkungsbereich darstellen. Sie sind klar bemerkbar aber im Vergleich zu anderen Gefahren oder Effekten nicht massgebend. In der Relevanzmatrix sind die relevanten Schnittstellen blau eingefärbt.

Sehr relevant

Als sehr relevant werden diejenigen Schnittstellen zwischen einer/s Gefahr/Effekts und eines Auswirkungsbereichs – in Bezug auf die aktuellen sozioökonomischen Eigenschaften und Tendenzen – bezeichnet, welche für den jeweiligen Auswirkungsbereich massgeblich sind. In der Relevanzmatrix sind die entsprechenden Schnittstellen rot markiert.

Die als relevant oder sehr relevant klassierten Schnittstellen zwischen Gefahren/Effekten und Auswirkungsbereiche werden abhängig von der Datenverfügbarkeit quantitativ oder qualitativ analysiert.

Quantitative Analyse

Um quantitativ analysieren zu können, braucht es ein wissenschaftliches Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Gefahren/Effekten und den Auswirkungsbereichen und verlässliche Daten (z.B. sozioökonomische Aspekte). Zudem sollten die Unsicherheiten eingrenzbar sein. Falls die Daten lückenhaft sind, wird der Detaillierungsgrad der Analyse reduziert.

Qualitative Analyse

Wenn die Zusammenhänge der Gefahren/Effekten und Auswirkungsbereiche sehr komplex sind, viele Unsicherheiten enthalten oder wenn grundlegende Daten fehlen, dann erfolgt eine qualitative Analyse. Die qualitative Analyse basiert primär auf den Kenntnissen der Arbeitsgruppe und der Expertinnen und Experten, sowie auf der entsprechenden Literatur.

Die Relevanzmatrix (Tabelle 41) zeigt mittels der unterschiedlich gefärbten Zellen die Relevanz der Konsequenzen die jede Gefahr oder jeder Effekt des Klimawandels auf die acht Auswirkungsbereiche ausübt. Ausserdem werden die Methode erwähnt, mittels deren die Konsequenzen analysiert werden.

5.1.1. Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen

Der Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen beinhaltet alle Pärke, Gärten, Spielplätze und Freizeitbereiche (z.B. öffentliche Schwimmbäder) innerhalb der wichtigsten Agglomerationen.

Im Tessin befinden sich 83 % des Wohnraums in den städtischen Agglomerationen von Lugano, Locarno, Bellinzona und Chiasso-Mendrisio. Die Gesundheit und Lebensqualität der städtischen Bevölkerung wird positiv von Freiräumen und Grünflächen beeinflusst.

Die städtischen Grünflächen dienen u.a. der Filterung von Feinstaub (durch die Pflanzen), spenden Schatten, tragen zur Temperaturregulierung bei und verschönern und strukturieren das Stadtbild. Die grossflächige Bebauung und Verkehrsmittel führen dazu, dass Städte besonders heisse und trockene Gebiete sind (in Grossstädten kann die Temperatur bis zu 6 – 8°C höher als deren Umgebung sein). Dieser Effekt macht aus Städten sogenannte Wärmeinseln. Nebst der Bevölkerung dienen Grünflächen in Städten auch der Biodiversität. Diese Flächen weisen oft eine besonders grosse Artenvielfalt auf. Man schätzt, dass in grossen Städten rund 16‘000 Tierarten leben (insbesondere Wirbellose).

Die Städte Locarno, Lugano und Ascona weisen eine grosse Anzahl von Freiräumen und Grünflächen auf, welche auch exotische Spezien (Palmen und exot. Blumen) beherbergen, die unter anderem als Tourismusattraktionen dienen.

Der Klimawandel kann sowohl zu Risiken als auch Chancen für den Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen führen. Die vermehrt auftretende Trockenheit im Sommer könnte z.B. zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf führen, wodurch Wassernutzungskonflikte entstehen können. Die Zunahme von Hitzewellen könnte hingegen zu einem grösseren Bedarf von Grünflächen führen (Zunahme der Besucher). Schliesslich ist es möglich, dass die mittlere Temperaturzunahme einerseits ein Risiko aufgrund der von gebietsfremden Organismen erzeugten Schäden darstellt (invasive Neophyten, invasive Neobiota wie z.B. Insekten etc.), andererseits besteht die Möglichkeit zum Anpflanzen neuer exotischer Pflanzen, welche beim heutigen Klima aufgrund der zu tiefen Temperaturen nicht überleben.

Die Tessiner Städte weisen auch im Sommer nur minim höhere Temperaturen als die umliegenden ländlichen Gebiete auf. Ihre Lage in der Nähe von Seen und an mit üppiger Vegetation bedeckten Hängen sowie ihre eher geringere Grösse im Vergleich zu anderen Schweizer Städten minimieren den Wärmeinseleffekt. Die Bedeutsamkeit von Freiräumen und Grünflächen in den Tessiner Städten ist somit nicht mit jener der grossen Städte wie z.B. Basel, Zürich oder Genf vergleichbar.

Da sowohl die Anzahl als auch die Bedeutsamkeit der Freiräume und Grünflächen im Tessin eher gering ist, hat die Arbeitsgruppe entschieden, diese **nicht im Detail zu analysieren**.

Es ist ausserdem zu erwähnen, dass die Auswirkungen auf die Biodiversität in städtischen Gebieten im Auswirkungsbereich „Biodiversität“ untersucht werden und die Auswirkungen auf die (städtischen) Erholungsgebiete im Auswirkungsbereich „Tourismus“.

In der Analyse der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Basel-Stadt (INFRAS/Egli Engeneering, 2015) und Genf (INFRAS/Egli Engineering/Sofies/INDDIGO , 2015) wurden die Auswirkungen auf Freiräume und Grünflächen im Detail untersucht. Da die Auswirkungen des Klimawandels auf die städtischen Gebiete der Schweiz durchaus ver-

gleichbar sind, kann teilweise davon ausgegangen werden, dass diese detaillierten Analysen auch für den Kanton Tessin repräsentativ sind. Dies auch wenn, wie bereits erwähnt, die Auswirkungen deutlich gemässigter sein werden.

5.2. GESUNDHEIT

5.2.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Tessiner-Bevölkerung

Der Kanton Tessin weist eine Gesamtbevölkerung von 346'500 Einwohnern und eine Bevölkerungsdichte von 123 Einwohner pro km^2 auf (Daten beziehen sich auf 2013). Verglichen mit der restlichen Schweiz, welche im Mittel 197 Einwohner pro km^2 aufweist, stellt dies eher einen tiefen Wert dar. Im Kanton Zürich z.B. sind es rund 825 Einwohner pro km^2 (2013). Nur bezogen auf die besiedelte Fläche (primär die Talböden) ist im Tessin jedoch eine Dichte von 2'400 Einwohner pro km^2 zu verzeichnen.

Wie in Abbildung 85 ersichtlich ist, weist die Tessiner Bevölkerung heute eine tiefe Geburtenrate auf und eine grosse Anzahl älterer Personen (nur 14 % der Bevölkerung ist jünger als 15 Jahre, während 21 % über 65 Jahre alt sind).

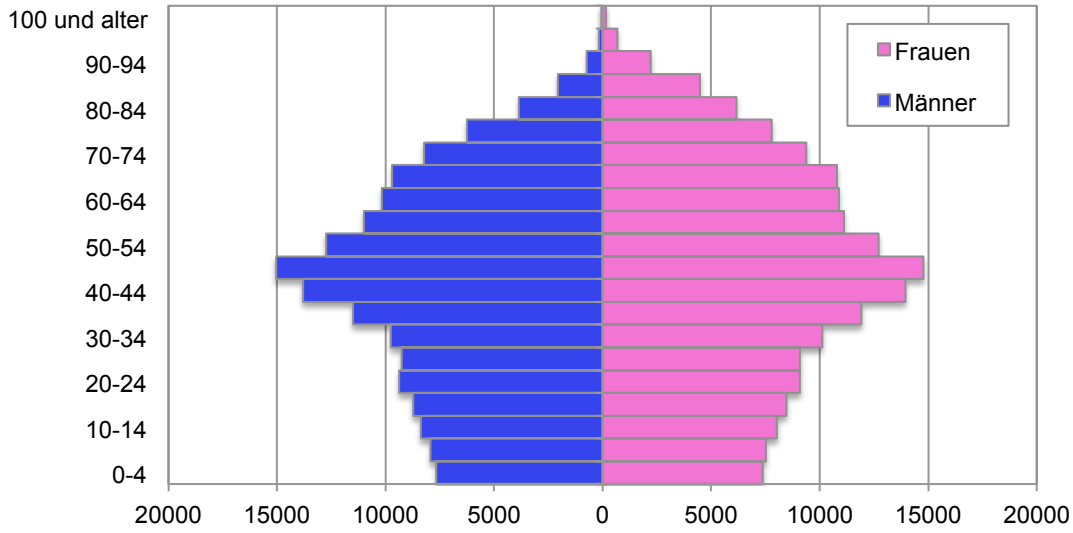


Abbildung 85: ***Bevölkerungspyramide des Kantons Tessin nach Geschlecht im Jahr 2012. Die rechte Seite stellt jene der Frauen und die linke jene der Männer dar.***

In Zukunft wird die Anzahl älterer Personen weiter stark ansteigen. Dadurch erhöht sich auch die Verletzlichkeit der Bevölkerung gegenüber hohen Temperaturen (Hitzewellen). Das Immunsystem älterer Personen ist ausserdem schwächer und weniger reaktiv als jenes der jüngeren Personen. Dadurch ist die ältere Bevölkerungsgruppe vulnerabler gegenüber Krankheiten (inkl. neue mögliche über gebietsfremde Vektoren übertragene Krankheiten).

5.2.2. Gefahren und Effekte 2060

Basierend auf der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) werden im Auswirkungsbereich Gesundheit folgende Gefahren und Effekte analysiert: Schneelawinen, Starkschneefälle, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Änderung im Niederschlagsregime, Waldbrand, Hitzewelle, Steinschlag/Fels-/Bergsturz und Veränderung Mitteltemperatur. Die von jeder Gefahr oder jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 42. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit ist in Abbildung 86 ersichtlich.

Die Auswertung des Auswirkungsbereichs Gesundheit umfasst die direkten Auswirkungen auf die Gesundheit (Verletzte, Kranke, Tote und Hitzebetroffene) infolge von Naturgefahren und Veränderung der Mitteltemperatur. Zudem werden die indirekten Auswirkungen infolge der Veränderung der Mitteltemperatur (Verbreitung neuer exotischer Krankheiten, Zunahme der von Allergien betroffenen Personen und Zunahme der Krankheiten infolge Luftverschmutzung), der Hitzewellen (Abnahme der Arbeitsproduktivität) und der Kältewellen (Abnahme der Strassenverkehrsunfälle auf schnee- und eisbedeckten Strassen) untersucht.

Im Auswirkungsbereich Gesundheit sind folgende Indikatoren berücksichtigt: Hitzebetroffene, durch Schadenereignis Betroffene, von Allergien betroffene Personen, Verletzte/Kranke und Tote (vgl. Tabelle 2). Die Indikatoren umfassen die immateriellen Schäden, die Arztkosten und die Verdienstausfälle der geschädigten Personen. Sie werden monetarisiert, sie sind jedoch nicht als reelle Kosten oder Erträge zu verstehen, sondern als monetarisierte Werte, welche den Vergleich mit Risiken und Chancen anderer Auswirkungsbereichen erlauben.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 42 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Für den Auswirkungsbereich Gesundheit sind vor allem folgende Handlungsfelder relevant: G1 (Über Vektoren übertragene Infektionskrankheiten) und G2 (Auswirkungen von Hitze). Die damit verbundenen Risiken können mittels folgender Massnahmen abgeschwächt werden: gm1 (Informationen und Empfehlungen zum Schutz bei Hitzewellen) und gm2 (Überwachung, Früherkennung und Prävention von vektorübertragenen Infektionskrankheiten beim Menschen).

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungsfelder	Massnahmen
Schneelawinen	Abnahme der Anzahl Todesfälle und Verletzter.		N5	n1 – n7
Starkschneefälle	Auswirkungen auf den Strassenzustand und tieferes Unfallrisiko mit Verletzten und/oder Toten.			
Mure/Erdrutsch/ Hangmure	Zunahme der Anzahl Todesfälle und Verletzter.		N3; N5	n1 – n7
		Grössere Risiken in Zusammenhang mit der Wasserversorgung und der Trinkwasserqualität.	N3; N5; W1	n1 – n7; w3
Änderung im Niederschlagsregime		Entstehung neuer Lebensräume für Krankheitsträger (z.B. Wasseransammlungen aufgrund des Rückgangs von Seen als Lebensraum für einige Mückenarten) [11].	G1; B3	gm2; gm3; b6
Waldbrand		Abnahme der Zecken im Unterholz.	G1; B3	gm2; gm3
Hitzewelle	Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit (Tote, Einlieferungen, betroffene Personen).		G2; G3	gm1
	Abnahme der Arbeitsproduktivität.		G2; G3	gm1
		Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation.	G2; G3	gm1
Steinschlag/Fels-/Bergsturz	Abnahme der Anzahl Verletzter.		N4; N5;	n1 – n7;
		Geringere Risiken in Zusammenhang mit der Wasserversorgung und der Trinkwasserqualität.	N4; N5; W1	n1 – n7; w3
Veränderung Mittel-temperatur		Verlängerung der Pollensaison (mehr Allergien) und Verbreitung neuer Pflanzen.	G2	
		Verbreitung neuer Krankheiten durch gebietsfremde Vektoren (z.B. Tigermücken oder Zecken).	G1; B3	gm2; gm3; b6
		Zunahme der durch Nahrung und Wasser verursachten Infektionen.	G3	gt1
		Zunahme der Luftverschmutzung.	G2	gm1

Tabelle 42: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün beschrieben.***

[11] Eventuell in Kombination der Veränderung der Mitteltemperatur auszuwerten.

Wirkungsmodell

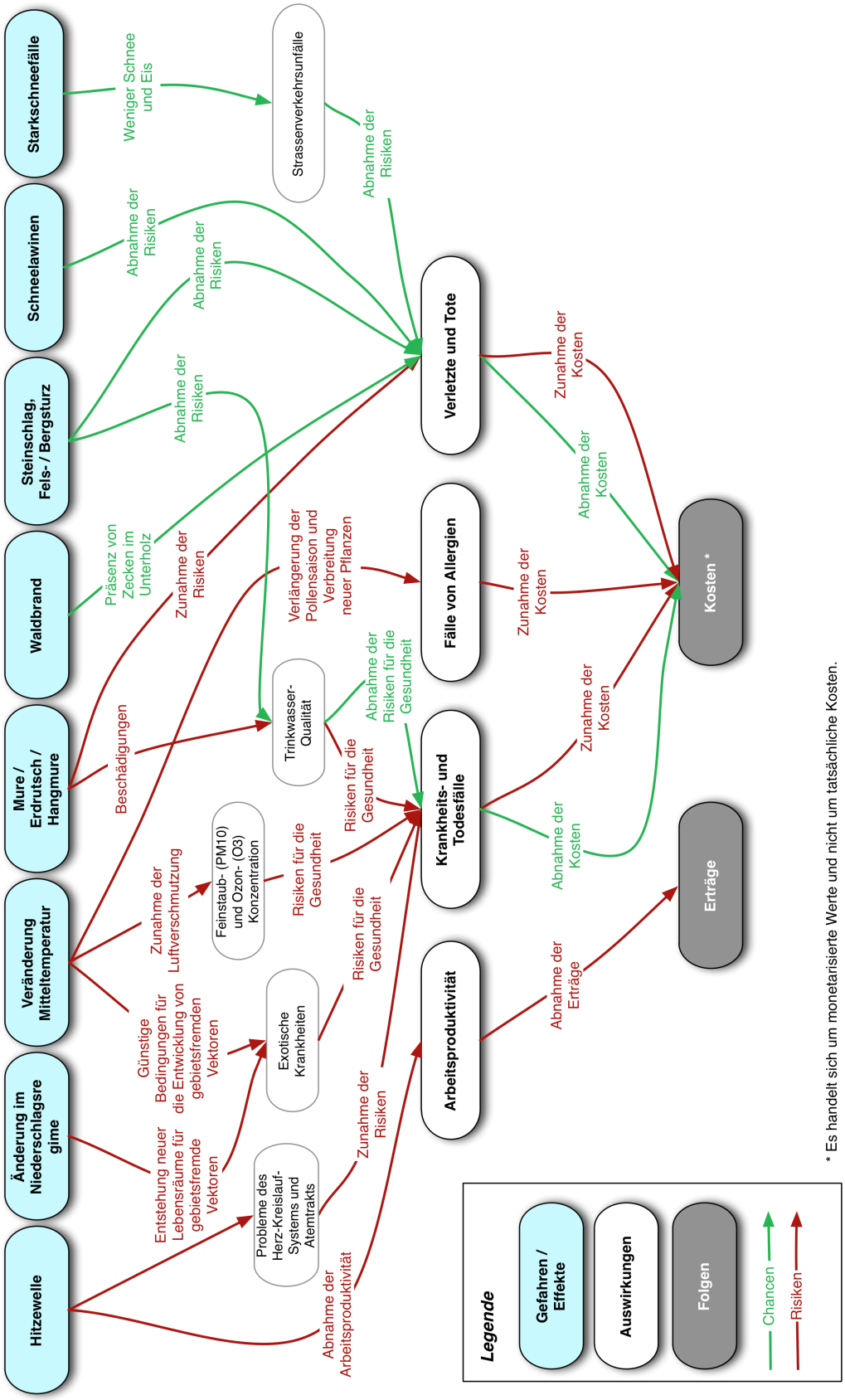


Abbildung 86: ***Schematische Darstellung der Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte auf die Gesundheit.***

Schneelawinen

Quantitative Auswirkungen

Tote und Verletzte

Im Tessin kommt es, auch wenn nur äusserst selten, zu Todesfällen oder Verletzten infolge von besonders grossen Lawinen oder wenn letztere bis in besiedelte Gebieten vordringen. Generell hängt die Anzahl Todesfälle oder Verletzte von der Dimension und dem Typ der Lawinen ab. Die Überlebensdauer (abhängig von der Sauerstoffverfügung) von Lawinenverschütteten hängt – nebst dem Grad der Verletzungen - stark von der Schneedichte ab. Trockener Lawinenschnee enthält mehr Luft als nasser Schnee.

Im Zeitraum der Referenzperiode betrug der Erwartungswert von Todesfällen infolge Lawinen 0.13 Tote pro Jahr. Er wurde mittels Unterteilung der vergangenen Ereignisse in Klassen verschiedener Wiederkehrperioden (vgl. Kapitel 3.5) bestimmt, Der Erwartungswert von Verletzten lag bei 0.92 Verletzte pro Jahr (Sezione Forestale Cantonale, 2015). Monetarisiert man diese Werte ergibt dies einen jährlichen Verlust (Kosten) von rund 0.7 Mio. Fr.

Im Winter 1951 kam es in der Leventina, dem Maggia- und Verzascatal zu ungewöhnlich intensiven Starkschneefällen, in deren Folge zahlreiche und äusserst grosse Lawinen niedergingen. Insgesamt haben 192 Lawinen grosse Schäden und mehrere Todesfälle und Verletzte gefordert, insbesondere in den höhergelegenen Dörfern (>1000 m ü. M.). Auch waren einige Ortschaften wie Bosco Gurin und das Pecciatal komplett von der Aussenwelt abgeschnitten. Im Verlauf des letzten Jahrhunderts waren in jenem Winter am meisten Todesfälle zu verzeichnen. Insgesamt waren es 17 Tote und 36 Verletzte (Sezione Forestale Cantonale, 2015) und (Buzzi, Spinedi, & Kappenberger). Bei diesem Ereignis handelt es sich um ein hundertjährliches Ereignis. Wird es monetarisiert (Tote und Verletzte) ergibt dies Kosten von rund 89 Mio. Fr.

Da der grösste Einfluss auf die Gesundheit der Menschen von Lawinen ausgeht, welche bis in tiefe Lagen reichen (dort lebt der grösste Teil der Bevölkerung), wurden bei der Auswertung der zukünftigen Szenarien einzig die Auswirkungen von Lawinen unterhalb von 1500 m ü. M. berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5.7). Bei separater Analyse der Ereignisse mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden erwartet man eine Abnahme der Kosten um 5.57 % für das Szenario schwach und 5.59 % für das Szenario stark.

Die Unsicherheit bezüglich der Anzahl Todesfälle und Verletzte infolge von Lawinen unter dem Referenzszenario ist in erster Linie auf die Schwankung der jährlichen Anzahl der Ereignisse zurückzuführen, welche zu Beeinträchtigungen der Bevölkerung führen können. Da jedoch die analysierten Ereignisse sich über eine ausgedehnte Zeitskala verteilen, kann man davon ausgehen, dass die Unsicherheit unter dem Referenzszenario **gering** ist. Für die zukünftigen Schätzungen muss auch die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung von Lawinen berücksichtigt werden, diese ist als **mittel** einzustufen.

Starkschneefälle

Quantitative Auswirkungen

Strassenverkehrsunfälle

Infolge von Schnee oder Eis auf den Strassen ereignen sich im Tessin jedes Jahr zahlreiche Unfälle, z.T. mit Verletzten oder sogar Toten. Im Mittel (Zeitraum 2007 bis 2011) werden im Tessin 142 Unfälle pro Jahr infolge von Schnee oder Eis auf Strassen gezählt. Bei 22 dieser Unfälle wurden leicht Verletzte, Verletzte oder Tote verzeichnet.

Im Tessin wurden im Zeitraum 2007 – 2011 insgesamt 1‘217 Unfälle pro Jahr mit Personenschäden gezählt. Darunter sind 19 Tote, 357 Verletzte und 1'217 leicht Verletzte. Daraus ergeben sich folgende statistischen Werte: 0.02 Tote, 0.3 schwerverletzte und 0.7 leichtverletzte Personen pro Unfall mit Opfern (Polizia cantonale ticinese, 2013).

Überträgt man diese Daten auf die 22 Unfälle mit Personenschäden pro Jahr auf schnee- und eisbedeckten Strassen, ergibt dies eine mittlere Anzahl von 0.3 Toten und 27 Verletzten (leicht und schwer) pro Jahr. Monetarisiert ergibt dies Kosten in der Höhe von 4.5 Mio. Fr.

Da die meisten Strassen im Tessin unterhalb von 1’900 m ü. M. liegen, kann die zukünftige Entwicklung der Starkschneefälle mit den Werten für diese Höhenlage abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 4.5.6). Unter dem Szenario schwach erwartet man somit eine Abnahme der Verkehrsunfälle auf Schnee oder Eis und entsprechend auch der Kosten um rund 20 %, beim Szenario stark um 40 %.

Die Unsicherheit der jährlichen Anzahl Opfer von Verkehrsunfällen infolge von Schnee und Eis ist primär zurückzuführen auf die jährliche Schwankung der Anzahl Unfälle mit Opfern, der Starkschneefälle, sowie auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum mit Unfallopfern, und die Anzahl Verletzte oder Tote, die sich nicht spezifisch auf winterliche Strassenverhältnisse (Schnee oder Eis) zurückführen lassen. Unter Einbezug dieser Faktoren ist die Unsicherheit als **gering** zu bewerten. Bei den zukünftigen Schätzungen ist nicht nur die Anzahl der Neuschneetage in Bezug auf Verkehrsunfälle relevant, sondern z.B. auch die Lufttemperaturen sowie die Schneemenge. Insgesamt ist von einer **mittleren** Unsicherheit bei den zukünftigen Schätzungen auszugehen.

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Quantitative Auswirkungen

Tote und Verletzte

Aufgrund der Starkniederschläge, welche im Tessin häufig insbesondere im Herbst auftreten, ist es möglich, dass Muren (Murgänge), Erdrutsche oder Hangmuren das Leben oder die Gesundheit der Bevölkerung gefährden. Beispielsweise wurden im November 2014 im Tessin aussergewöhnlich grosse Regenmengen verzeichnet. Diese haben zu Muren, Erdrutschen und Hangmuren geführt, welche in Bombinasco und Davesco 4 Tote und 2 Verletzte forderten.

Starkniederschläge können ein plötzliches Anschwellen von Flüssen bewirken, welche wiederum grosse Mengen an Geschiebe und Holz losreissen und so zu Murgängen führen können. Letztere können ganze Häuser zerstören und Menschen gefährden. Der Unterschied

zwischen Flusshochwasser und Murgang besteht einzig in der Konzentration der transportierten Sedimente, wodurch es nicht einfach ist die Schäden dem richtigen Prozess zuzuordnen. Da im Tessin die StorMe-Daten nicht zwischen den beiden Prozessen unterscheiden, werden in diesem Kapitel beide Prozesse der Gefahr Mure/Erdrusch/Hangmure zugeordnet. Erhöhte Pegelstände von Seen sind in Bezug auf Todesfälle oder Verletzte nicht von Bedeutung, dies aufgrund der Langsamkeit und Vorhersehbarkeit des Prozesses.

Die Analyse der Referenzperiode (1980-2009) mittels der in Kapitel 3.5 erwähnten Methode zeigt, dass Muren, Erdrutsch und Hangmuren im Mittel 0.7 Tote und 0.4 Verletzte pro Jahr verursachen (Sezione Forestale Cantonale, 2015). Die Monetarisierung dieser Zahlen ergibt Kosten von rund 3.6 Mio. Fr.

Die Auswertung mittels Gumbel-Analyse der Datenreihen vergangener Todesfälle und Verletzten infolge von Mure/Erdrutsch/Hangmure (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass es bei einem hundertjährlichen Ereignis zu drei Verletzten und ca. 5 Todesfällen kommen würde. Im Jahr 1924[12] wurden über ein Jahrhundert betrachtet am meisten Tote infolge von Murgängen und Flusshochwasser gezählt, es waren deren elf (Sezione Forestale Cantonale, 2015). Insgesamt kann somit ein hundertjährliches Ereignis zu Kosten von rund 79 Mio. Fr. führen.

Unter Berücksichtigung der Änderung von Muren, Erdrutschen und Hangmuren in Bezug auf deren Wiederkehrperiode unter den zukünftigen Szenarien (vgl. Kapitel 4.5.4) kann davon ausgegangen werden, dass die Todesfälle und die Anzahl Verletzter aufgrund dieser Naturgefahren um ca. 4 % unter dem Szenario schwach und ungefähr 42 % unter dem Szenario stark zunehmen werden.

Die Unsicherheit der Todesfälle infolge der Muren, Erdrutsche und Hangmuren ist auf die jährliche Schwankung der Anzahl Ereignisse, welche Schäden verursachen, zurückzuführen. Da die ausgewerteten Daten sich jedoch auf einen relativ grossen Zeitraum beziehen, kann von einer **geringen** Unsicherheit ausgegangen werden. Für die zukünftigen Schätzungen ist aufgrund der Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Prozessgruppe und der Wiederkehrperiode von einer **mittleren** Unsicherheit auszugehen.

Qualitative Auswirkungen

Trinkwasserqualität

Muren, Erdrutsche und Hangmuren sind auch bezüglich der Trinkwasserqualität von Bedeutung. Sie können nämlich die Wasserversorgungssysteme beschädigen und/oder die Quellwasserqualität gefährden. Eine mögliche indirekte Auswirkung ist das Auslösen von Epidemien. Diese Gefahr hat in den letzten Jahren zugenommen, vor allem auch weil immer grössere Ver- und Entsorgungssysteme existieren, die sich über verschiedene Gemeinden verteilen.

Da im Tessin das Trinkwasser strengen und kontinuierlichen Kontrollen unterliegt, wird das Wasser im Fall einer Verschmutzung rasch als nicht trinkbar bewertet. Eine Epidemie, die sich übers Trinkwasser verteilt, ist daher äusserst unwahrscheinlich. Aus diesem Grund wer-

[12] Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass zwischen 1924 und heute bereits Anpassungsmassnahmen getroffen wurden, um die Auswirkungen der Naturgefahren abzuschwächen (Erhöhung der Uferböschung, Schutzmassnahmen etc.). Gleichzeitig wuchs die Tessiner Bevölkerung, wodurch vermehrt in potentiell naturgefahrengefährdeten Gebieten gebaut wurde.

den die Risiken für die Gesundheit infolge einer beeinträchtigten Trinkwasserqualität als **deutlich geringer** eingestuft (in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Gesundheit, sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark).

Änderung im Niederschlagsregime

Qualitative Auswirkungen

Lebensräume von Vektoren exotischer Krankheiten

Infolge der Veränderung der Mitteltemperatur können sich neue Vektoren (Krankheitsüberträger) exotischer Krankheiten ausbreiten. Änderungen im Niederschlagsregime können zu einer weiteren Zunahme der Vektoren (z.B. Insekten) führen. Durch die Bildung von Pfützen infolge des Sinkens der Seepegel (insbes. des Lago Maggiore) ergeben sich ideale Brutstätten für normalerweise in feuchten Gebieten vorkommende Mückenarten (z.B. Aedes vexans), welche die in den angrenzenden Gebieten wohnenden Personen belästigen können.

Auf die Problematik der Verbreitung von Vektoren exotischer Krankheiten wird auch im Kapitel „Veränderung Mitteltemperatur“ eingegangen. Aus diesem Grund werden sie in Bezug auf die Änderung im Niederschlagsregime als **nicht relevant** im Vergleich der quantitativ ausgewerteten Risiken bewertet (sowohl unter dem Szenario stark als auch schwach).

Waldbrand

Qualitative Auswirkungen

Zecken im Unterholz

Basierend auf den historischen Daten kann man davon ausgehen, dass Waldbrände keine direkten Einflüsse auf die Gesundheit der Menschen haben. Die Schäden an Schutzwäldern werden in Kapitel 5.4 erläutert. Die Ausbreitung der Waldbrände ist in der Regel auf Gebiete ausserhalb der Siedlungsräume beschränkt. Bei Waldbränden brennt in der Regel das gesamte Unterholz ab. Dieses dient auch als Lebensraum für Zecken. Wird dieser zerstört ist nach Meinung der Fachexperten eine Abnahme der durch Zecken übertragenen viralen Krankheiten wahrscheinlich (Abnahme der Anzahl Krankheitsfälle).

In Zukunft wird die Zunahme von Trockenheit insbes. während den heissen Monaten zu mehr Waldbränden führen. Der Anstieg liegt zwischen 5 und 25 % (vgl. Kapitel 4.5.11). Diese betreffen jedoch nur einen minimalen Anteil der Gesamtfläche der Tessiner Wälder, welche zudem keine erhöhte Präsenz von krankheitstragenden Zecken aufweisen. Aus diesem Grund lässt sich schlussfolgern, dass der Anstieg der Waldbrände keinen erhöhten Einfluss auf die Anzahl zeckenübertragener Krankheitsfälle hat. Somit ist diese Auswirkung als **nicht relevant** einzustufen verglichen mit den anderen Auswirkungen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit.

Hitzewelle

Quantitative Auswirkungen

Für das korrekte Funktionieren des menschlichen Organismus ist eine mehr oder weniger konstante Körpertemperatur notwendig. Aus diesem Grund haben Hitzewellen eine negative

Wirkung auf die Gesundheit. Wie in einer Studie (Cerutti, et al., 2004) erwähnt, sind ältere Menschen (> 65 Jahre) (wahrscheinlich aufgrund der geringeren Toleranz gegenüber Temperaturänderungen), Kleinkinder, generell alle kranken Personen (vor allem Personen mit Herzproblemen), chronisch Kranke oder jene mit Polymorbidität am empfindlichsten gegenüber Hitzewellen. Die Gefahr Hitzewelle ist in den Städten, wo der grösste Teil der Tessiner Bevölkerung wohnt, grösser als auf dem Land, da dort die Temperaturen noch höhere Werte erreichen.

Nicht alle Hitzewellen haben denselben Effekt. Die Intensität, Dauer und der Zeitpunkt des Ereignisses bestimmen den Schweregrad der Konsequenzen. Zum Beispiel haben Hitzewellen, die zu Beginn des Sommers auftreten, einen grösseren Einfluss auf die Sterberate und auf Spitaleinlieferungen als jene, welche am Ende des Sommers auftreten (Thommen Dombois & Braun-Fahrländer, 2004).

Für die Analyse der Auswirkungen der Hitzewellentage auf die Gesundheit wurden historische Datenreihen der Städte Lugano und Locarno ausgewertet. Diese sind repräsentativ für die bewohnten Gebiete des Sotto- resp. Sopraceneri (vgl. Kapitel 4.5.12).

Todesfälle

Im Jahr 2003 (hundertjährliches Hitzewelle-Ereignis) wurde eine leicht erhöhte Sterberate der Tessiner-Bevölkerung festgestellt im Vergleich zu den Jahren 2000-2014. Insgesamt lag sie rund 2 % über dem Mittelwert (Cerutti, et al., 2004). In anderen Teilen der Schweiz (Genf, Basel und Lausanne), in Frankreich und Italien lag die Sterberate deutlich höher als in den Jahren davor. Einige mögliche Gründe für die geringere Zunahme im Tessin können folgende sein: Temperaturwerte, die insgesamt nicht ganz so hoch wie in Frankreich oder Italien ausfielen, das nahezu mediterrane Klima (Bevölkerung ist an besonders heisse Perioden gewöhnt), das Fehlen grosser Metropolen und die Möglichkeit der Stadtbewohner, rasch in kühlere und höher gelegene Zonen auszuweichen.

Im Jahr 2003 wurde ausserdem beobachtet, dass die erste Hitzewelle im Juni am meisten frühzeitige Todesfälle bewirkte. Es kann somit angenommen werden, dass die Hitzewellen am Anfang des Sommers die Sterberate stärker beeinflussen als die darauffolgenden. Empfindliche Personen, welche die erste Hitzewelle überleben, sterben somit tendenziell auch in den nachfolgenden nicht, wenn die Temperatur vergleichbar hoch ist. Diese Tendenz ist in Abbildung 87 ersichtlich, in welcher die Sterberate in Funktion der Anzahl Hitzewellentage dargestellt wird. Dort ist zu erkennen, dass die Sterberate zu Beginn der Hitzewelle stark ansteigt und anschliessend abflacht. Dies kann mathematisch beschrieben werden. Unter der Annahme, dass die Sterberate proportional zur Anzahl Hitzewellentage verläuft jedoch invers proportional zur Anzahl bereits vergangener Hitzewellentage, kann sie mittels folgender Gleichung beschrieben werden:

$$Sterberate\ (\cdot 1000) = 1.93 + 0.028 \cdot ln\left(1 + N_{Hitzewellentage}\right).$$

Die Konstante 1.93 und der Koeffizient 0.028 wurden mittels einer numerischen Analyse bestimmt, und repräsentieren die gemessenen Daten am besten (vgl. Abbildung 87). Zu erwähnen ist, dass die Konstante der Sterberate unabhängig von Hitzewellen ist.

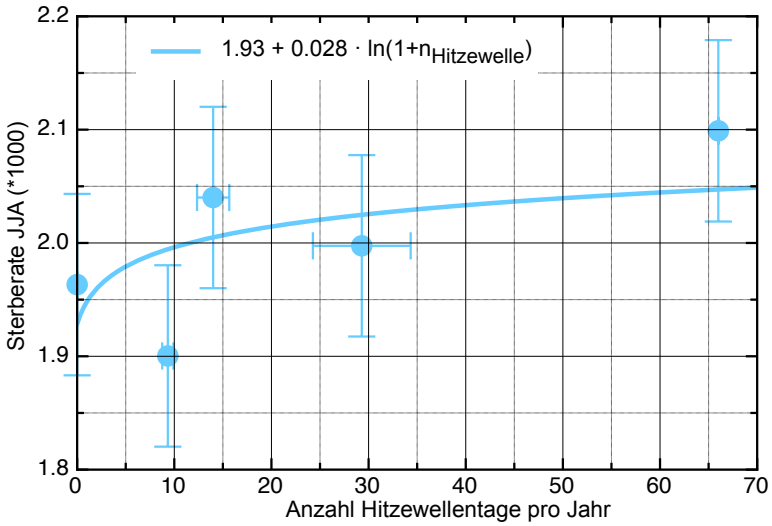


Abbildung 87: ***Sterberate der Tessiner Bevölkerung während den Sommermonaten (Juni, Juli, August) in Funktion der Anzahl Hitzewellentage im selben Zeitraum. Die Daten der Periode 2000-2014 wurden in Klassen eingeteilt, welche der Anzahl Tage der Hitzewelle entsprechen (0,1-10, 11-20, 21-40 und ≥ 41). Der blaue Punkt ganz rechts (bei 66 Hitzewellentagen auf der Abszisse) entspricht dem Sommer 2003.***

Auf der Basis des heutigen Mittelwerts von 22 Hitzewellentagen pro Jahr (Wert des Jahrs 2003 ausgeschlossen, vgl. Kapitel 4.5.12) kann von einer Sterberate während den Sommermonaten von $2.02 \cdot 10^{-3}$ ausgegangen werden. Zieht man die von Hitzewellen unabhängige Sterberate ($1.93 \cdot 10^{-3}$) von diesem Wert ab, kann davon ausgegangen werden, dass die frühzeitigen Todesfälle (30 pro Jahr) Kosten in der Höhe von 152 Mio. Fr./Jahr verursachen.

Im Jahr 2003 lag die Sterberate im Tessin bei $2.1 * 10^{-3}$. Insgesamt waren dies 29 Todesfälle mehr als im Mittel. Monetarisiert ergibt dies Mehrkosten in der Höhe von 295 Mio. Fr.

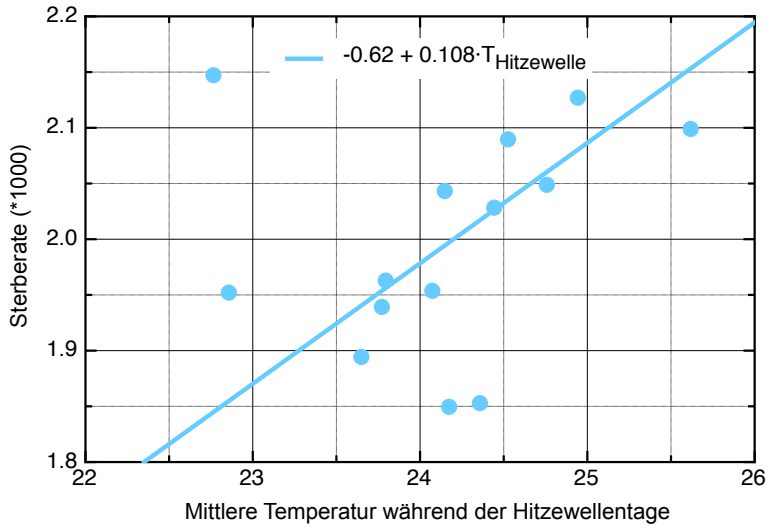


Abbildung 88: ***Zusammenhang zwischen der Sterberate und der Mitteltemperatur während den Hitzewellentagen im Tessin während den Sommermonaten (Juni, Juli, August). Obwohl Hitzewellen nach Definition ab 24°C beginnen, zählen in unserer Analyse auch ein paar Tage mit tieferen Temperaturen dazu.***

Die Auswirkung der Hitzewellen auf die Sterberate der Bevölkerung kann auch auf der Basis der Mitteltemperatur während der Hitzewelle ausgewertet werden. In Abbildung 88 erkennt man eine klare Korrelation zwischen der Mitteltemperatur während den Hitzewellentagen und der Sterberate. Die Sterberate steigt um $0.108 \cdot 10^{-3}$ pro °C. Heute hat ein Hitzewellentag während einer Hitzewelle im Mittel eine Temperatur von 24.5°C (Durchschnitt der in Lugano und Locarno gemessen Werte im Zeitraum 2003 – 2014). Im Sommer 2003 wiesen die Hitzewellentage im Schnitt 25.5°C auf. Auf der Basis von Abbildung 88 ergibt dies 37 frühzeitige Todesfälle mehr als im langjährigen Mittel.

Da nicht genau abgeschätzt werden kann, wie hoch die Mitteltemperatur der Hitzewellentage in Zukunft sein wird, hat die Arbeitsgruppe entschieden, den Einfluss auf die Sterberate mittels der Anzahl der Hitzewellentage zu ermitteln (vgl. Abbildung 87).

Um den Anstieg der Todesfälle infolge von Hitzewellen zu bestimmen, wird davon ausgegangen, dass erstere mit der Zunahme der Hitzewellentage logarithmisch korreliert. Letztere können mit der sommerlichen Mitteltemperatur in Verbindung gebracht werden. Unter dem Szenario schwach wird von einem Anstieg um 97 % während unter dem Szenario stark von einer Zunahme um 212 % ausgegangen. Die Kosten, welche mit dem Anstieg der frühzeitigen Todesfälle zusammenhängen, steigen voraussichtlich um 21 % unter dem Szenario schwach und um 35 % unter dem Szenario stark. Es sind dies Werte, die bereits im Sommer 2003 annähernd erreicht wurden. Allerdings lag damals die Mitteltemperatur der Hitzewellentage bei 25.5°C, was nur 1°C über dem Mittel der heutigen Werte liegt. In Zukunft werden nebst der Anzahl Hitzewellentage auch deren Mitteltemperaturen zunehmen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär darauf zurückzuführen, dass die Ursache sowohl der frühzeitigen Todesfälle als auch der erhöhten Sterberaten nicht immer eindeutig Hitzewellen sind. Die Unsicherheit wird somit als mittel eingestuft. Unter den zukünftigen Szenarien bleiben die bereits erwähnten Unsicherheiten bestehen. Zusätzlich kommt die Tatsache hinzu, dass die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit am Anfang des Sommers nicht gleich sind wie an dessen Ende, was in der Analyse nicht berücksichtigt worden ist. Auch ist deren Auswirkung abhängig von der Mitteltemperatur der Anzahl Hitzewellentage. Was auch nicht berücksichtigt wurde, ist die Möglichkeit, dass sich die Tessiner Bevölkerung an wärmere Temperaturen gewöhnen könnte. Unter den zukünftigen Szenarien ist somit mit einer **mittleren** Unsicherheit zu rechnen.

Spitaleinlieferungen

Hitzewellen führen zu einem erheblichen Anstieg von Spitaleinlieferungen älterer Personen. Da primär Personen älter als 65 Jahre betroffen sind, wird bei der Berechnung der Kosten nur diese Altersklasse berücksichtigt. Momentan werden pro Sommer rund 191 Personen infolge von Hitzewellen hospitalisiert (Mittelwert im Zeitraum 2001 – 2002). Monetarisiert ergibt dies Kosten von ca. 19 Mio. Fr.

Im Tessin kam es im Sommer 2003 im Gegensatz zur vergleichsweise schwachen Zunahme der Sterberate zu einem bedeutenden Anstieg der Spitaleinlieferungen. So wurden rund 33 % mehr Personen (> 65 Jahre) in Spitäler eingeliefert als sonst. Insgesamt kam es zu ungefähr 254 Einlieferungen. Dies entspricht Kosten in der Höhe von über 25 Mio. Fr (Cerutti, et al., 2004).

Um den Anstieg der zukünftigen Anzahl Einlieferungen abzuschätzen, wird von einem proportionalen Anstieg letzterer gegenüber dem Anstieg der Anzahl Hitzewellentage ausgegangen. Unter dem Szenario schwach erwartet man einen Anstieg um 97 % im Vergleich zu heute und unter dem Szenario stark um 212 % (vgl. Kapitel 4.5.12).

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario besteht primär wegen der Schwierigkeit, die Einlieferung mit Sicherheit als Ursache der Hitzewelle zu werten und wird als **gering** eingestuft. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt hinzu, dass die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit am Anfang des Sommers nicht gleich sind wie an dessen Ende, was in der Analyse nicht berücksichtigt worden ist. Auch ist deren Auswirkung abhängig von der Mitteltemperatur der Anzahl Hitzewellentage. Bei den zukünftigen Schätzungen ist somit mit einer **mittleren** Unsicherheit zu rechnen.

Hitzebetroffene

Obwohl vor allem ältere Menschen besonders stark unter Hitzewellen leiden, kann die ganze Bevölkerung Reaktionen zeigen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass rund 50 % der Bevölkerung Symptome infolge der Hitzewelle aufweist (Müdigkeit, Dehydratation, Schlafstörungen, Kopfweh, Übelkeit etc.), dies an jedem zweiten Hitzetag, der jeweils auf eine Tropennacht folgt (EBP/WSL, 2013). Zwischen 2003 und 2014 stellte man fest, dass nur auf 51 % der Tropennächte auch ein Hitzetag folgt (OASI, 2015a). Da in Lugano unter dem Referenzszenario 13 Tropennächte pro Jahr auftreten (vgl. Kapitel 4.4.1), kann man mit rund 7 Tropennächten und darauffolgenden Hitzetagen pro Jahr rechnen.

Hitzetage und Tropennächte treten vor allem in tiefen Lagen auf. Oberhalb von ca. 500 m ü. M. sind sie hingegen fast inexistent (vgl. Kapitel 4.4.1). Man kann also davon ausgehen, dass von Hitzewellen nur jene Personen betroffen sind, die unterhalb von 500 m ü. M. leben. Diese machen ca. 88 % der Tessiner-Bevölkerung aus (Stand Jahr 2000) (UStat, 2000). Die Tessiner-Bevölkerung zählt heute ca. 346'500 Einwohner. Hitzebetroffene sind also ca. 305'000 Personen. Die Monetarisierung dieser Zahlen ergibt Kosten in der Höhe von rund 26 Mio. Fr.

Als Extremereignis wird das Jahr 2003 ausgewertet, in dem insgesamt 34 aufeinanderfolgende Tropennächte und Hitzetage auftraten. Unter den zuvor erläuterten Annahmen ist davon auszugehen, dass bei einem Extremereignis wie 2003 die Hitzebetroffenen Kosten in der Höhe von ca. 134 Mio. Fr. verursachen.

Da bei allen Aspekten dieses Kapitels die Tropennächte eine wichtige Rolle spielen, wurde für die Auswertung der zukünftigen Szenarien schwach und stark die Zunahme der Tropennächte in Lugano berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.4.1). Es ist somit von einer Zunahme der Kosten von 154 % unter dem Szenario schwach und 385 % unter dem Szenario stark auszugehen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist in erster Linie auf die Schwierigkeit zurückzuführen, den effektiven Anteil der von der Hitzewelle betroffenen Personen abzuschätzen. Sie ist als **gering** einzustufen. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt hinzu, dass die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit am Anfang des Sommers nicht gleich sind wie an dessen Ende, was in der Analyse nicht berücksichtigt worden ist. Zudem kommt die Unsicherheit in der Berechnung der Anzahl Tropennächte und Hitzetage hinzu. Unter den zukünftigen Szenarien ist somit mit einer **mittleren** Unsicherheit zu rechnen.

Abnahme der Arbeitsproduktivität

Die Zunahme der Hitzewellentage und generell auch der sehr heissen Tage haben auch einen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Dies gilt insbesondere für die im Freien oder in schlecht isolierten Gebäuden arbeitenden Personen. So kann es zu grossen Mehrkosten (resp. Ertragseinbussen) in Industrie, Handel- und Dienstleistungseichrichtungen kommen.

Die Auswirkung von Hitzewellen auf die Arbeitsproduktivität hängt von der Art der Arbeit zusammen. Zum Beispiel kann Büroarbeit (im Sitzen) effizient bis maximal 31°C verrichtet werden, während z.B. Handwerker bereits ab 27°C weniger effizient arbeiten (SECO, 2007). Nebst diesen Faktoren haben auch Wind, Luftfeuchtigkeit und Kleidung einen wichtigen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Während den Sommern (Bsp. 2015) sind grundsätzlich auch Menschen von Hitzewellen betroffen, die in Gebäuden arbeiten, welche keine Klimaanlagen aufweisen.

Die Produktivität aufgrund von Hitzewellen nimmt im Mittel um ca. 7.5 % ab (WWF Deutschland, 2007). Die Abnahme ist direkt proportional zum BIP des Kantons Tessin von 27.1 Milliarden Fr./Jahr. Unter Berücksichtigung der zuvor erwähnten Punkte kann davon ausgegangen werden, dass bei Personen, die im 2. Sektor tätig sind, die Arbeitsproduktivität im Verlauf des Hitzetages während rund 3 Stunden pro Tag abnimmt, während bei Personen, welche im 3. Sektor arbeiten die Arbeitsproduktivität im selben Zeitraum erst bei höheren Temperaturen abnimmt. Aufs ganze Jahr hochgerechnet kann davon ausgegangen werden, dass unter dem Referenzszenario infolge von Hitzewellen Kosten in der Höhe von 5 Mio. Fr./Jahr entstehen (die Anzahl Hitzetage und Sommertage bezieht sich dabei auf Lugano, vgl. Kapitel 4.4.1).

Auch diesbezüglich ist der Sommer 2003 als hundertjährliches Ereignis einzustufen. In Lugano wurden total 47 Hitzetage und 1 Sommertag festgestellt. Basierend auf diesen Daten entstehen bei einem Extremereignis infolge der Abnahme der Arbeitsproduktivität Kosten von rund 29 Mio. Fr.

Unter den zukünftigen Szenarien kommt es zu einer Zunahme der Hitzetage und der Sommertage (beide Indikatoren beeinflussen insbes. die Arbeitsproduktivität des 2. Sektors). Einbussen der Produktivität aufgrund von Hitze können daher um 176 % unter dem Szenario schwach und 504 % unter dem Szenario stark zunehmen.

Die Unsicherheit der Berechnung der Arbeitsproduktivitätsabnahme unter dem Referenzszenario ist primär darauf zurückzuführen, dass es schwierig ist, die Ursache von Ertragseinbussen mit Sicherheit den Tagesmitteltemperaturen zuzuschreiben. Ausserdem haben die Art der Arbeit und die Gebäudeisolierung einen grossen Einfluss. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann unter dem Referenzszenario von einer **geringen** und bei den zukünftigen Schätzungen von einer **mittleren** Unsicherheit ausgegangen werden. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt zusätzlich die unischere Änderung der Mitteltemperatur hinzu.

Qualitative Auswirkungen

Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation

Die Arbeitsbedingungen während Hitzewellen sind insbes. kritisch für Personen, die im Freien arbeiten, wie z.B. Bauarbeiter. Bereits heute ist vorgesehen, für gewisse Berufskate-

gorien, die Arbeitszeiten zu verschieben, damit sie auf kühlere Zeiten fallen. Meistens wird die Arbeit am Morgen früher begonnen, so dass kurz nach Mittag aufgehört werden kann.

In der Schweiz sind Arbeiten, die während nicht konventionellen Arbeitszeiten anfallen mit höheren Löhnen verbunden als jene der konventionellen Zeiten. Die Verschiebung der Arbeitszeiten kann somit zu Mehrkosten führen. Infolge der zukünftig öfters auftretenden Hitzewellen kann sich diese Problematik somit verstärken. Davon betroffen sind Personen aus verschiedensten Branchen und auch solche die in nicht klimatisierten Gebäuden arbeiten.

Da bereits heute einzelne Arbeitgeber die Arbeitszeiten verschoben haben, jedoch nicht alle, hat die Arbeitsgruppe entschieden, dieses Risiko als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Gesundheit einzustufen (für beide Szenarien).

Steinschlag/Fels-/Bergsturz

Quantitative Auswirkungen

Verletzte

Im Tessin gab es während den letzten 30 Jahren Verletzte infolge von Naturgefahren, die mit Änderungen der Temperatur zusammenhängen (Steinschlag/Fels-/Bergsturz).

Aus den StorMe-Daten des Tessins kann ein jährlicher Erwartungswert der Anzahl Verletzten infolge von Steinschlag/Fels-/Bergsturz in der Höhe von 0.3 abgeleitet werden (Sezione Forestale Cantonale, 2015). Monetarisiert sind dies mittlere Kosten pro Jahr in der Höhe von ca. 30‘000 Fr.

Die Anwendung der Gumbel-Analyse auf die Datenreihen vergangener Ereignisse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass ein hunderjährliches Ereignis ca. 3 Verletzte verursacht. Monetarisiert entspricht dies Kosten von ca. 290‘000 Fr.

Diejenigen Naturgefahren, welche die Gesundheit der Menschen am meisten gefährden, sind jene, die sich in tiefen Höhenlagen ereignen, also dort, wo der grösste Teil der Bevölkerung lebt. Aus diesem Grund werden für die Auswertung der zukünftigen Szenarien nur Gebiete berücksichtigt, welche im Bereich von nordexponierten Hängen unterhalb von 1500 m ü. M. liegen und im Bereich südexponierter Hänge unterhalb von 2300 m ü. M. (vgl. Kapitel 4.5.16). Unter dem Szenario schwach erwartet man somit eine Abnahme der Kosten um 10 % und unter dem Szenario stark eine um 20 %.

Die Unsicherheit der Anzahl Verletzten infolge von Steinschlag/Fels-/Bergsturz ist primär auf die jährlichen Schwankungen der für Menschen gefährlichen Ereignisse zurückzuführen sowie auf die Zuordnung der Verletzten zu dieser Prozessgruppe (die Unterscheidung zwischen Sturzprozessen, die durch Niederschläge und jene, die durch Temperaturänderungen verursacht werden erweist sich oft als schwierig). Da sich die analysierten Daten auf ein relativ grosses Zeitintervall beziehen, kann unter dem Referenzszenario von einer **geringen** Unsicherheit ausgegangen werden. Bei den zukünftigen Schätzungen spielt die nicht ganz genau bekannte Entwicklung der Sturzprozesse eine Rolle, wodurch die Zuteilung einer **mittleren** Unsicherheit als sinnvoll erscheint.

Qualitative Auswirkungen

Trinkwasserqualität

Auch Steinschlag/Fels-/Bergsturz können einen Einfluss auf die Trinkwasserqualität haben und somit die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen. Da dieses Risiko bereits für die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure ausgewertet wurde, wird es hier als **nicht relevant** in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken beurteilt.

Veränderung Mitteltemperatur

Qualitative Auswirkungen

Verlängerung der Pollensaison

Die in einem Gebiet vorkommende Vegetation spiegelt die klimatischen Bedingungen. Das Klima hat deshalb einen entscheidenden Einfluss auf das Vorkommen von Pflanzen mit allergenen Pollen. In den vergangenen Jahren hat sich der Pollenniederschlag verändert (Aha - Allergiezentrum Schweiz, 2015).

- Die zeitliche Verschiebung der Pollensaison: Jene der Birke und Esche beginnt nun rund 2 – 3 Wochen früher als vor ca. 20 Jahren, jene der Gräser beginnt ca. 10 Tage früher.
- Die Verlängerung der Pollensaison: Diese Änderung ist insbes. bei den Pollen der Gräser feststellbar.

Die Entwicklung bezüglich Quantität der Pollen ist zum heutigen Zeitpunkt noch unklar, es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Zunahme der Mitteltemperatur zu einer verstärkten Pollenproduktion führt.

In Zukunft ist es infolge des Klimawandels durchaus möglich, dass es zu einer weiteren zeitlichen Vorverschiebung der Pollensaison kommen wird.

Der Klimawandel kann mit der gleichzeitig fortschreitenden Globalisierung eine zunehmend stärkere Verbreitung von neuen allergenen Pflanzenarten bewirken. Zum Beispiel kann es auch in der Schweiz zur Ansiedlung neuer wärmeliebender Pflanzen kommen. So können in Zukunft neue allergene Pflanzen aus dem Mittelmeerraum auftreten, wie Zypressen oder Glaskraut, evtl. Olivenbäume. Die neuen allergenen Pflanzen können die bisherige Pollenbelastung verstärken und verlängern.

Die Zunahme der Mitteltemperaturen wird auch eine Migration der Pflanzen in höher gelegene Gebiete begünstigen, wodurch auch in den Bergen zunehmend mehr Pollen in der Luft sein werden.

Die Verbreitung des beifussblättrigen Traubenkrauts (*Ambrosia artemisiifolia*), welche bis anhin durch menschliche Tätigkeiten erfolgt, wird durch die Zunahme der Temperaturen weiter begünstigt. Dies ist eine besorgniserregende Entwicklung, da rund 10 % der Schweizer-Bevölkerung ihr gegenüber allergische Symptome zeigen.

In Kapitel 4.4.4 ist der deutliche Unterschied der Dauer der Vegetationsperiode zwischen dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark erkennbar. Die Personen, welche unter allergischem Asthma oder Heuschnupfen leiden (im Tessin ca. 15 % der Bevölkerung (Aha, 2007)) werden somit während einer längeren Periode den Allergenen ausgesetzt sein.

Die aufgrund von Pollen auftretenden Allergien führen zu unangenehmen Symptomen wie Schnupfen oder juckende Augen, welche durch spezifische Medikamente unterdrückt werden können. Die Arbeitsgruppe erachtet die Auswirkung des Klimawandels auf die Verbreitung von Pollen als **geringer** im Vergleich der quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Gesundheit.

Verbreitung neuer durch gebietsfremde Vektoren übertragener Krankheiten

Die wichtigsten tierischen Vektoren von Infektionskrankheiten sind die Insekten (z.B. Mücken, Läuse und Flöhe), Spinnentiere (Zecken) und Nagetiere (Mäuse und Ratten). Die Verbreitung dieser Organismen begünstigt die Verbreitung von Krankheiten, deren Vektoren sie sind. Unter Umständen können sie auch Epidemien auslösen.

Während den letzten Jahrzehnten kam es infolge des Klimawandels (insbes. Zunahme der Mittel- und Minimaltemperaturen sowie der Änderungen im Niederschlagsregime) und der Globalisierung des Handels von Waren im Tessin zur Verbreitung von gebietsfremden Vektoren wie Parasiten, die Träger der Infektionskrankheit Leishmaniose sind oder neue Mückenarten, die Träger der Dengue- oder Chikungunyaviren sind. Ausserdem wurde eine Zunahme der Zecken in höheren Gebieten und nördlicheren Breitengraden sowie eine Abnahme in tieferen Gebieten in südlicheren Breiten festgestellt. Zecken können Überträger von Lyme-Borreliose oder Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)/Zeckenenzephalitis sein.

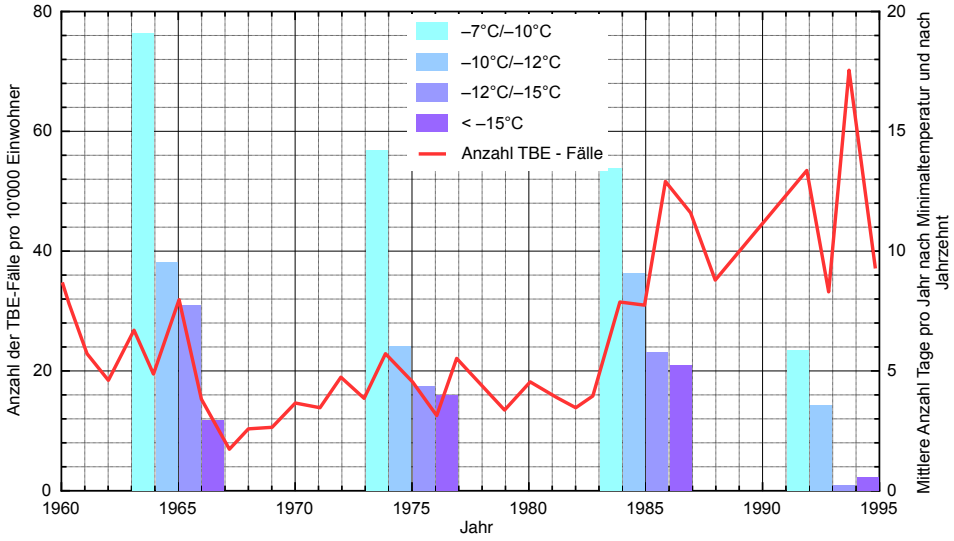


Abbildung 89: ***Rote Kurve: Anzahl der von der Zeckenenzephalitis betroffenen Personen (TBE) pro 10'000 Einwohner (linke Achse). Blaue Balken: Mittlere Anzahl Tage pro Jahr nach Minimaltemperatur und nach Jahrzehnt (rechte Achse) in (Thommen Dombois & Braun-Fahrländer, 2004).***

Nebst den in unseren Wäldern lebenden Huftieren (Wildschweine, Hirsche etc.) sind für die Verbreitung der Zecken insbesondere auch die winterlichen Minimaltemperaturen relevant. Die Anzahl Frosttage im Winter beeinflusst beispielsweise die Verbreitung von Zecken und somit die Anzahl Neuerkrankungen an Zeckenenzephalitis. Unter dem Szenario schwach werden die Frosttage in Lugano um 57 % und unter dem Szenario stark gar um 91 % zurückgehen (vgl. Kapitel 4.4.2). Berücksichtigt man die Zunahme der Personen, welche zeckenübertragene Krankheiten aufweisen in Bezug zur Anzahl Frosttage (vgl. Abbildung 89)

kann davon ausgegangen werden, dass die Krankheitsfälle in Zukunft weiter zunehmen werden (dies vor allem in höheren Lagen).

Eine verbreitete durch Zecken übertragene virale Krankheit ist die Zeckenenzephalitis. In der Schweiz liegen die Gefahrenherde auf der Alpennordseite, wo in den Risikozonen etwa 0.5 bis 3 % der Zecken Träger dieses Virus sind. Im Tessin gibt es heute jedoch keine Gefahrenherde (Divisione della salute pubblica, 2013).

Wie bereits zuvor erwähnt ist die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) eine der bedeutendsten Vektoren von exotischen Krankheiten, die sich infolge des Klimawandels ab 2003 im Kanton Tessin verbreitet haben. Die Tigermücke kann Gelb-, Dengue und Chikungunyafieber übertragen, was zurzeit nur in tropischen Ländern vorkommt.

Solange keine Personen von einer dieser Krankheiten angesteckt werden, stellt dieses Insekt keine Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung dar. Das Problem tritt erst auf, wenn eine der Krankheiten aus Ländern, wo sie bereits existieren, in unser Land eingeführt wird. Schweizweit werden laut Bundesamt für Gesundheit pro Jahr zw. 2 und 72 Fälle von Denguefieber gemeldet, alle angesteckt im Herkunftsland der Mücken.

Die Ausbreitung der Tigermücke hängt von diversen Parametern wie insbes. der Temperatur im Winter ab. Um im Frühjahr die Entwicklung einer neuen Population zu ermöglichen, dürfen die Eier im Winter nicht absterben. Ausschlaggebend für das Überleben der Eier ist die Mitteltemperatur im Januar, welche nicht unter 1°C (±2°C) sinken darf. Das Überleben der bereits geschlüpften Mücken hängt hingegen von der mittleren Jahrestemperatur ab, welche höher als ca. 11°C sein muss. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass infolge des Klimawandels in Zukunft die Tigermücke noch weiter verbreitet sein wird (sowohl in nördlicheren Breiten als auch in höheren Lagen). In Abbildung 90 sind die für die Verbreitung von Tigermücken geeigneten Gebiete unter dem Referenzszenario und unter dem Szenario stark grafisch dargestellt. Darauf ist erkennbar, dass die Mückenart heute vor allem im Tessin verbreitet ist, sie jedoch in Zukunft vermehrt auch in anderen Gebieten der Schweiz auftreten wird (Ausbreitung von der Region Genfersee aus in Richtung Mittelland). Zu erwähnen ist ausserdem, dass bereits heute in den grossen Städten und Agglomerationen aufgrund des Wärmeinsel-Effekts theoretisch geeignete Gebiete für Tigermücken bestehen (vgl. Abbildung 90).

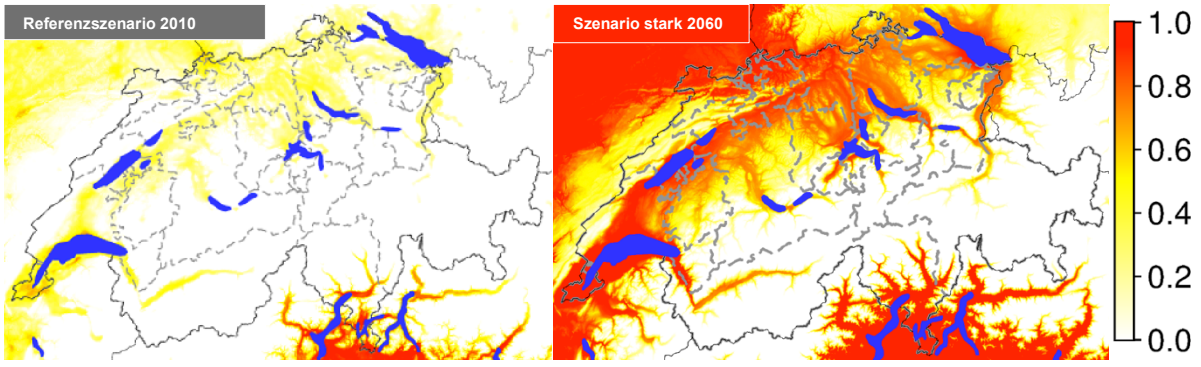


Abbildung 90: ***Eignung der Schweiz für die Verbreitung der Asiatischen Tigermücke (1:sehr geeignetes Gebiet; 0:nicht geeignetes Gebiet) unter dem Referenzszenario (Mittel 2003-2011) und dem Szenario stark (Neteler, et al., 2013).***

Die Larven von Tigermücken entwickeln sich in kleinen stehenden Gewässern (in der Regel unter 200 l Volumen). Der Entwicklungszyklus beginnt zurzeit Ende Mai - Anfangs Juni und weist seinen Höhepunkt Ende August auf. Dieser Zeitraum ist direkt von den klimatischen Bedingungen abhängig, die während dem entsprechenden Zeitraum vorherrschen. Infolge des Klimawandels ist davon auszugehen, dass die aktive Phase der Tigermücken aufgrund der höheren Temperaturen insgesamt länger wird.

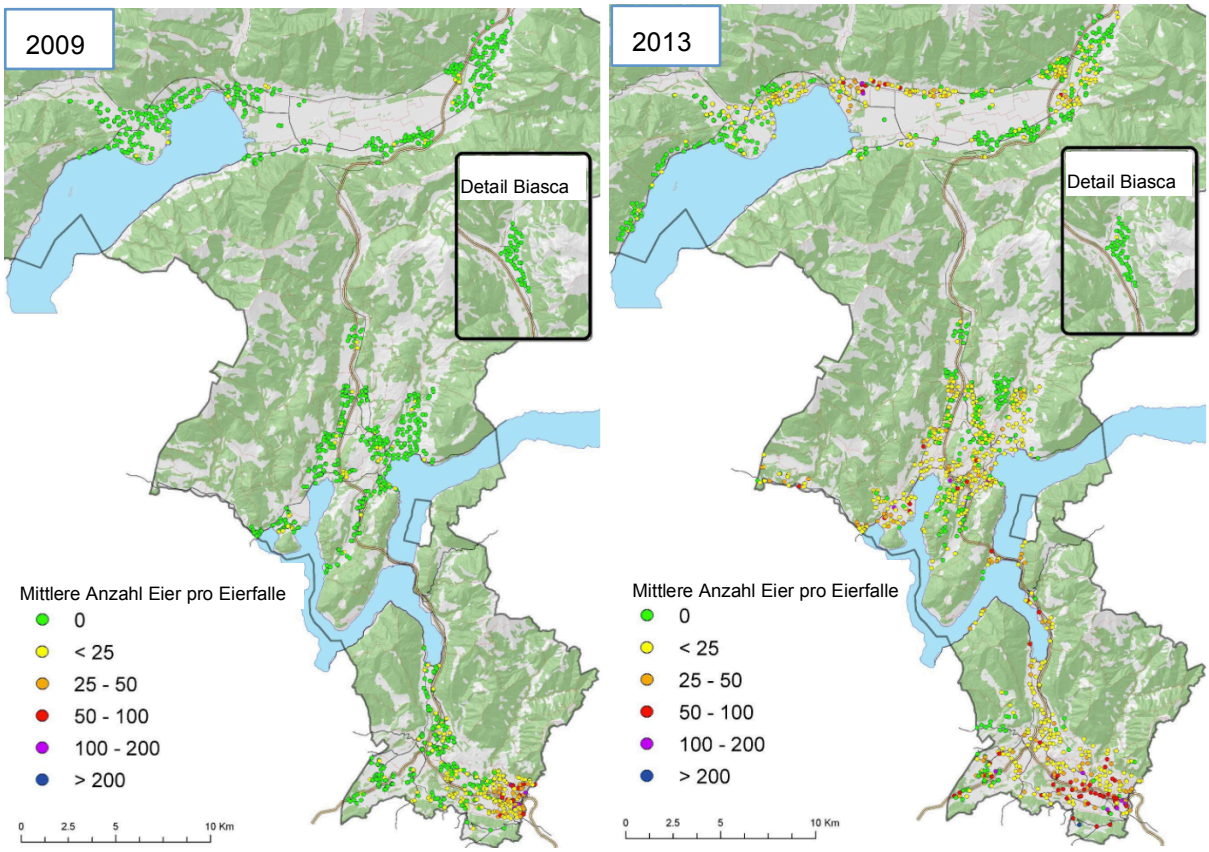


Abbildung 91: Verbreitung der Asiatischen Tigermücke im Kanton Tessin (Mittlere Anzahl Eier pro Eierfalle im Jahr 2009 (linkes Bild) und 2013 (rechtes Bild) (GLZ, 2015).

Im Gebiet zwischen Chiasso und Biasca ermittelt die Arbeitsgruppe für Mücken des Kantons Tessin (gruppo di lavoro zanzare del Canton Ticino (GLZ)) die Dichte der Populationen von Tigermücken in 63 verschiedenen Tessiner Gemeinden (Stand 2014). Dank diesem Monitoring-System ist es möglich, die genaue Verbreitung der Mücke zu eruieren und insbesondere die Risikogebiete zu erkennen. In Abbildung 91 ist erkennbar, wie sich die Tigermücke im Zeitraum 2009-2013 verbreitet hat. Auffallend ist, dass im Jahr 2013 im Gegensatz zum Jahr 2009 Mückeneier bis in die Gegend um Biasca auftraten. Im Jahr 2009 war das Insekt primär im Mendrisiotto verbreitet.

Die Leishmaniose ist eine parasitäre Krankheit, welche sowohl Menschen als auch Hunde befallen kann. Diese Krankheit wird durch die Sandmücken übertragen, welche heute im Süden von Europa vorkommen. Dieser Vektor bevorzugt ein warmes und feuchtes Klima. Seit ca. 20 Jahren kam es infolge der zunehmend wärmeren Temperaturen zu einer leichten Zunahme der Leishmaniose-Fälle bei Menschen in Italien (Favati, Macchioni, & Mancianti, 2000). Mit der prognostizierten Zunahme der Mitteltemperatur ist es durchaus wahrscheinlich, dass diese Krankheit auch im Tessin auftreten wird.

Das mit dem Klimawandel verbundene Risiko der Verbreitung von Vektoren (infolge der Temperaturzunahme und insbes. der Abnahme der Frosttage im Winter), die exotische Krankheiten übertragen, ist für den Kanton Tessin von Bedeutung. Es wurde als **geringer** in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft (für beide Szenarien).

Zunahme der durch Nahrung und Wasser verursachten Infektionen

Die Veränderung der Mitteltemperatur kann zusammen mit dem globalen Handel von Nahrungsmitteln eine Zunahme der Infektionen insbesondere des Magens oder Darmtrakts bewirken. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass durch verdorbene Nahrungsmittel verursachte Krankheiten mit der Jahreszeit zusammenhängen. Im Sommer, wo die höchsten Temperaturen herrschen, kommen am meisten und im Winter am wenigsten dieser Krankheiten vor.

Die in Zukunft höheren Mitteltemperaturen können zudem das Wachstum der im Wasser vorkommenden Mikroorganismen (wie z.B. Cyanobakterien, Dinoflagellaten, Diatomeen und Legionellen) begünstigen. Diese können die Gesundheit des Menschen sowohl über Trink- als auch über Badewasser (Hautkontakt) gefährden. Die grössere Verbreitung dieser Mikroorganismen im Tessin führt möglicherweise nicht zu deutlich mehr Krankheitsfällen, sondern es werden mehr Qualitätskontrollen des Wassers notwendig sein. Die Mehrkosten im Vergleich zur bereits heute bestehenden Anzahl Kontrollen werden jedoch nicht stark ins Gewicht fallen.

Wasser und Nahrungsmittel unterliegen im Tessin regelmässigen und strengen Kontrollen. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass das Risiko einer Zunahme der durch Nahrung und Wasser verursachten Infektionen im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken **deutlich geringer** ausfällt (sowohl unter dem Szenario stark als auch schwach).

Luftverschmutzung und -temperatur

In der Südschweiz ist die Luftverschmutzung ein wichtiger Umweltfaktor, der noch heute die Gesundheit der Bevölkerung belastet. Die in verschmutzter Luft vorkommenden Partikel lagern sich in Bronchien und Alveolen ab, wo sie kurz- bis langfristig eine Beeinträchtigung der Gesundheit bewirken können.

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Feinstaubbelastung (PM10) signifikante Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen hat, dies auch bei relativ geringen Konzentrationen (vgl. Abbildung 92). Zwar nahmen die Feinstaubkonzentrationen in den letzten Jahren kontinuierlich ab, es können aber auch unterhalb des definierten Grenzwerts der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) gesundheitliche Schäden auftreten, welche auf besonders kritische Feinstaubpartikel zurückzuführen sind (EKL, 2007).

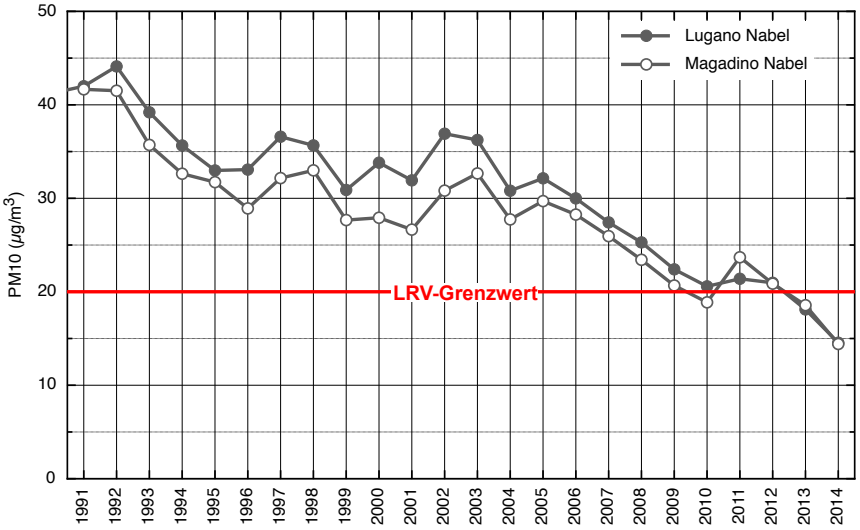


Abbildung 92: ***Feinstaubbelastung (PM10); mittlere Konzentrationen pro Jahr, gemessen von den Messstationen des nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) in Lugano und Magadino. Die rote Linie stellt den Grenzwert der LRV dar (OASI, 2015a).***

Je höher die Luftverschmutzung ist, desto mehr Symptome und Krankheiten sind beim Menschen feststellbar. Die durch Luftverschmutzung verursachten Krankheiten sind äusserst vielseitig: Grössere Kindersterblichkeit, verzögerte Entwicklung der Lungen von Kindern, Krankheiten des Herzkreislaufsystems, Asthma und Allergien sowie geringere Lebenserwartungen infolge von Herz- oder Lungenkrankheiten (u.a. Lungenkrebs). In der Schweiz wurden die langfristigen Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit mittels der nationalen Kohortenstudie SAPALDIA (Swiss Cohort Study on Air Pollution and Lung and Heart Diseases in Adults) des Schweizerisches Tropen- und Public Health-Instituts (Swiss TPH) in Basel untersucht. Ein Vergleich der Daten der SAPALDIA mit anderen europäischen Studien zeigte, dass die Sterblichkeit infolge von Feinstaub auch bei tiefen Konzentrationen erhöht ist.

Verschiedene Klimaelemente (Mitteltemperatur, Niederschlag, Sonneneinstrahlung) beeinflussen die Luftqualität auf lokaler Ebene, indem sie chemische Reaktionen mit den in der Luft vorhandenen Schadstoffen fördern (Produktion oder Transformation von Teilchen).

Infolge des Klimawandels kann es im Winter zu einer Zunahme von Feinstaub PM10 in der Atmosphäre kommen, und zwar infolge zunehmender thermischer Inversionen, die durch die höheren Temperaturen und die gleichzeitig unveränderte Wärmestrahlung der Erdoberfläche bewirkt werden.

Der Klimawandel kann auch zum Anstieg von sekundären Schadstoffen wie z.B. Ozon (O_3) führen. In Abbildung 93 ist erkennbar, dass im Hitzesommer 2003 der in der LRV festgelegte Grenzwert für Ozon von 120 µg/m^3 im Vergleich zum langjährigen Mittel fast doppelt so oft überschritten wurde (Stationen Lugano und Magadino). Im regnerischen Sommer 2014 wurde der Grenzwert hingegen weniger oft überschritten als im langjährigen Mittel).

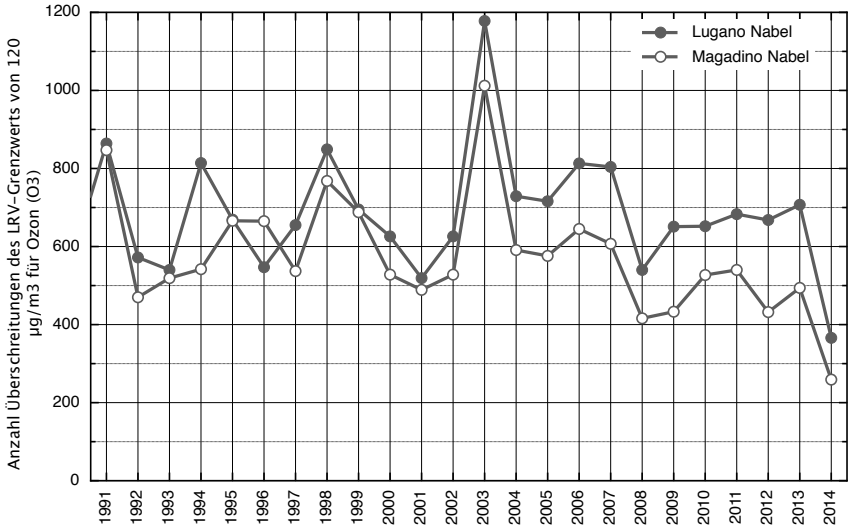


Abbildung 93: Ozon (O_3)- Belastung; Anzahl der Überschreitungen des LRV-Grenzwerts für Ozon von 120 µg/m^3 in Lugano und Magadino (OASI, 2015a).

Die in Zukunft trockeneren und heisseren Sommer führen mit grosser Wahrscheinlichkeit zu höheren Ozonkonzentrationen sowie zu einem insgesamt längeren Zeitraum, in welchem die Grenzwerte überschritten werden, wodurch die Gesundheit insbes. folgender Personen stärker gefährdet sein wird:

- Kinder bis 6 Jahre (da deren Lungen sich noch am entwickeln sind), schwangere Frauen, ältere Personen und körperlich Aktive im Freien (Sport, Arbeit).
- Personen mit Atem- oder Herzproblemen sowie Asthmatiker.

Die Arbeitsgruppe beurteilt die Risiken der Luftverschmutzung als **geringer** im Vergleich zu den quantitativ analysierten Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Gesundheit (sowohl unter dem Szenario stark als auch schwach).

Wildcard

Durch Vektoren exotischer Krankheiten verursachte Epidemien

Wie bereits zuvor erwähnt, stellt die Verbreitung von Vektoren exotischer Krankheiten erst ein Problem dar, wenn eine infizierte Person ins Tessin einreist. Die gleichzeitige Präsenz eines Vektors (z.B. Tigermücke) würde die Verbreitung der entsprechenden Krankheit ermöglichen, welche wenn nicht rechtzeitig erkannt, zu einer Epidemie führen kann.

Im 2007 kam es in Italien zu einem solchen Vorfall. In den Ortschaften Castiglione di Cervia und Castiglione di Ravenna in Emilia Romagna kam es zu einer Epidemie des Chikungunyafiebers. Grundsätzlich tritt diese Krankheit in einigen Regionen in Afrika sowie in Südostasien und Indien auf. Symptome sind u.a. hohes Fieber, Gelenkschmerzen, Hautausschläge und Erschöpfung (Angelini, et al., 2007). Im Juni 2007 reiste eine bereits erkrankte Person aus Indien in einen Vorort von Castiglione di Cervia ein, wo sich aufgrund der damals hohen Anzahl von Tigermücken die Krankheit rasch in der Ortschaft ausbreitete. Da die Mücke keine grossen Distanzen zurücklegt (max. 100 bis 200 m von ihrer Brutstätte entfernt) kann es durchaus sein, dass in kleineren Ortschaften wie Castiglione di Cervia und Castiglione di Ravenna eine erkrankte Person mehrmals gestochen wird und die Krankheit dann auf

andere übertragen wird. In Abbildung 94 ist der zeitliche Ablauf der Epidemie grafisch dargestellt, die den Zusammenhang zwischen Anzahl infizierter Personen und der weiteren Verbreitung aufzeigt.

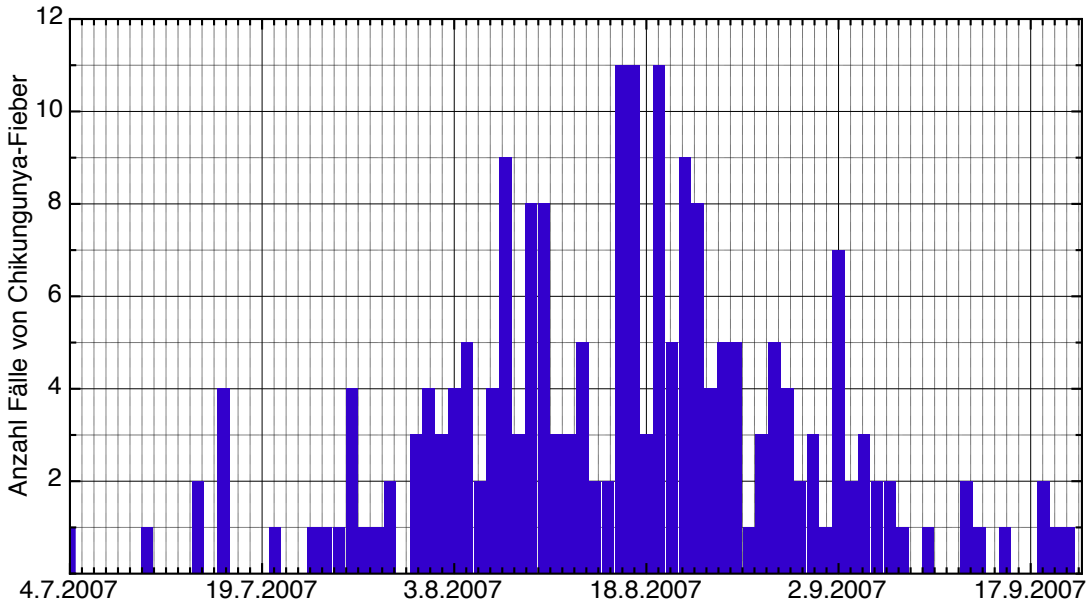


Abbildung 94: Anzahl von der Epidemie des Chikungunyafiebers betroffene Personen in der Provinz Ravenna im Sommer 2007 (Cassone, 2007).

Mitte August wurde mit der Bekämpfung der Tigermücken begonnen (Beseitigung von sämtlichen stehenden Gewässern). Dies bewirkte rasch eine Abnahme des Mückenbestandes und verhinderte eine weitere Ausbreitung der Krankheit.

Insgesamt waren infolge der Epidemie etwa 215 Personen vom Chikungunyafieber betroffen, ausserdem kam es zu einem Todesfall (Cassone, 2007).

Nebst den bereits bekannten Vektoren und Krankheiten ist im Hinblick auf das starke Szenario auch das Auftreten weiterer, bisher für das Tessin nicht erfasster Krankheiten und Vektoren (z.B. Aedes aegypti) nicht mehr auszuschliessen. Aufgrund der fast tropischen Verhältnisse, welches das starke Szenario für die Tieflagen der Alpensüdseite vorsehen, wird das Überleben in diesen Gebieten möglich sein. Wie teilweise bereits zuvor diskutiert, könnte ein Ausbruch solcher neuer Krankheiten erheblich grössere Schäden mit sich bringen, als die in den quantitativ ausgewerteten Risiken des Auswirkungsbereichs Gesundheit bislang eingestuften Auswirkungen.

Die Bedeutung der Folgen einer Verbreitung von exotischen Krankheiten im Tessin ist eng mit dem Virustyp, dem Handeln der Behörden und der Bestandsdichte der Vektoren abhängig. Aus diesen Gründen ist es besonders schwierig, den Gesamtschaden, zu welchem diese Wildcard führt, abzuschätzen.

5.2.3. Quantitative Analyse

Die Details der Berechnungen des Erwartungswertes und der Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit sind in Anhang A3 ersichtlich, während die Details der Gumbel-Analyse für die Extremereignisse in Anhang A7 aufgeführt sind.

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den zukünftigen Szenarien

In Abbildung 95 sind die Kosten und Erträge infolge der verschiedenen Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Gesundheit unter dem Referenzszenario sowie den beiden zukünftigen Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die entsprechenden Werte finden sich in Tabelle 43.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Schneelawinen									
Tote und Verletzte	-0.59	-0.74	-0.97	-0.35	-0.70	-1.40	-0.35	-0.70	-1.40
Starkschneefälle									
Strassenverkehrsunfälle	-3.6	-4.5	-5.8	-1.8	-3.6	-7.2	-1.3	-2.7	-5.4
Mure/Erdrutsch/Hangmure									
Tote und Verletzte	-2.9	-3.6	-4.7	-1.9	-3.8	-7.6	-2.6	-5.1	-10.3
Hitzewelle									
Tote	-76	-152	-304	-92	-184	-368	-103	-206	-412
Einlieferungen	-15	-19	-25	-19	-38	-75	-30	-60	-119
Hitzebetroffene	-20	-26	-33	-32	-65	-130	-62	-124	-248
Abnahme der Arbeitsproduktivität	-4	-5	-7	-8	-15	-30	-16	-33	-66
Steinschlag/Fels-/Bergsturz									
Verletzte	-0.02	-0.03	-0.04	-0.01	-0.03	-0.06	-0.01	-0.02	-0.05
Bilanz	**-381**	**-211**	**-123**	**-619**	**-310**	**-155**	**-861**	**-431**	**-215**

Tabelle 43: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für den Auswirkungsbereich Gesundheit. Es sind sowohl die heutigen Kosten/Erträge (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Effekte/Gefahren stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken.***

Die Naturgefahren verursachen heute im Tessin relativ wenige Tote und Verletzte. Die Risiken infolge dieser Naturgefahren nehmen bei der Prozessgruppe Mure/Erdrutsch/Hangmure zu und bei den Prozessen Schneelawinen, Starkschneefälle und Steinschlag/Fels-/Bergsturz ab.

Die Gefahr, welche den grössten Einfluss auf die Tessiner-Bevölkerung haben wird, ist jene der Zunahme der Hitzewellen im Sommer. Vor allem unter dem Szenario stark werden Hitzewellen zu grossen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Sie stellen für das Tessin somit ein ausschlaggebendes Risiko dar.

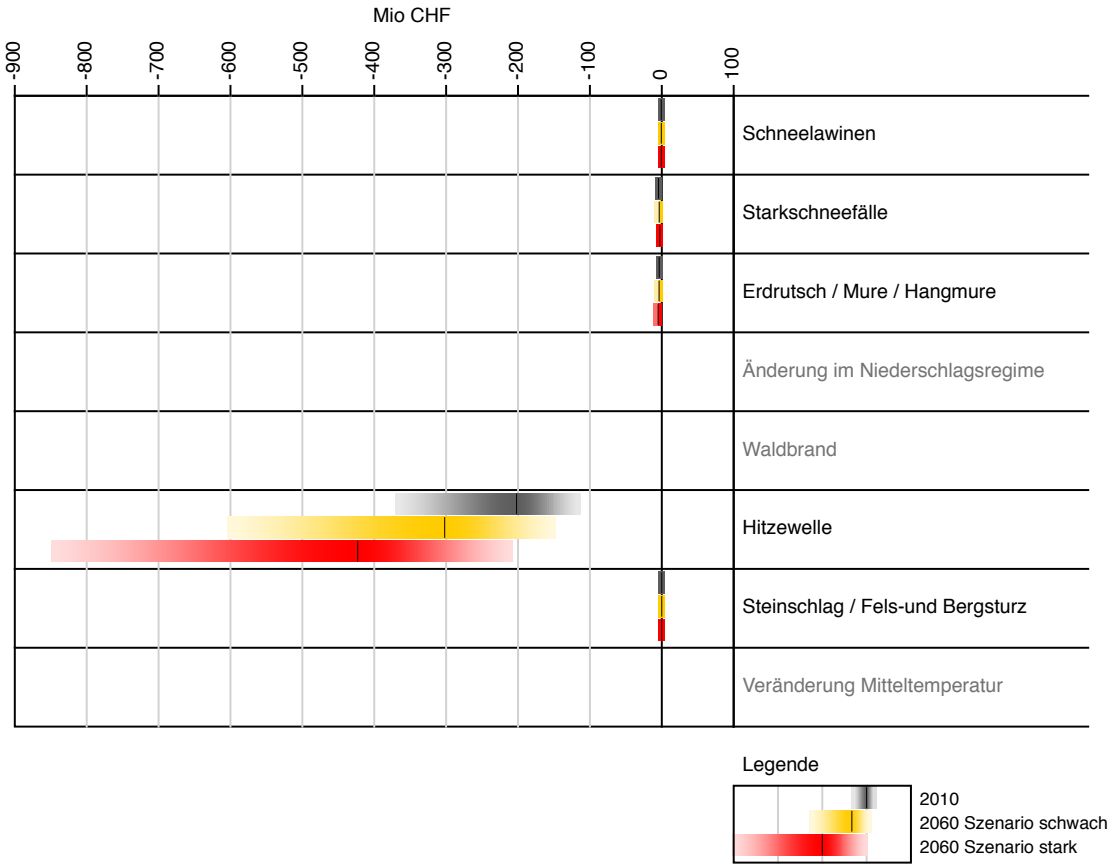


Abbildung 95: ***Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für jede Gefahr/jeden Effekt beim Auswirkungsbereich Gesundheit unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Abbildung zeigt den Erwartungswert und die entsprechenden Unsicherheiten.***

Extremereignisse

In Abbildung 96 sind die Kosten, welche ein Extremereignis verursachen würde, für jede Gefahr/jeden Effekt dargestellt. Analog zum Erwartungswert bilden auch bei den Extremereignissen die Hitzewellen die grösste Gefahr. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

Ein Extremereignis der Naturgefahren Schneelawinen, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz kann heute und in Zukunft zu maximalen Werten in der Höhe von ca. 220 Mio. Fr. führen. Ein Extremereignis des Effekts Hitzewelle kann hingegen monetarisierte Folgen von bis zu ca. 1'800 Mio. Fr. (1.8 Mia. Fr.) verursachen.

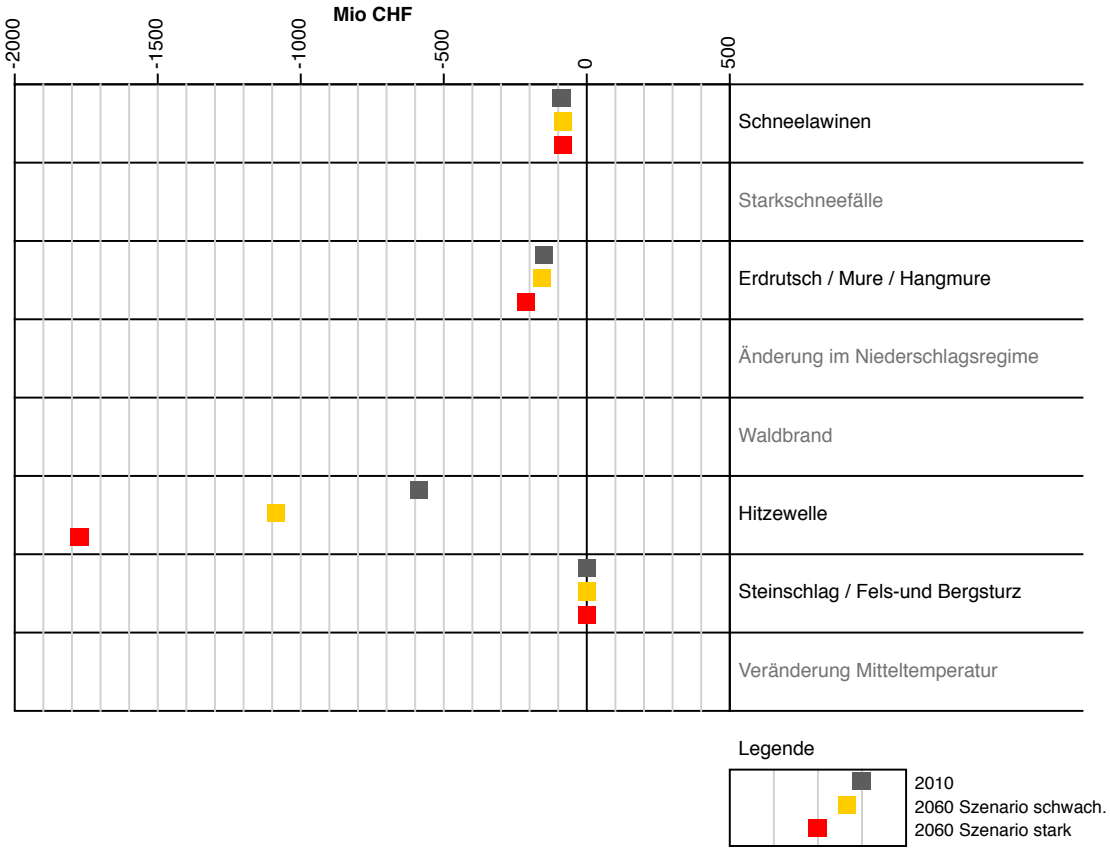


Abbildung 96: ***Kosten (negativ) und Erträge (positiv) eines Extremereignisses jeder Gefahr/jedes Effektes im Auswirkungsbereich Gesundheit unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark.***

Risiken, Chancen und Totalbilanz für den Auswirkungsbereich Gesundheit

In Abbildung 97 sind die Summen der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit aufgezeigt.

In der Grafik der Risiken sind die monetarisierten Werte, welche Todesfälle, Verletzte (infolge von Hitzewellen und Muren/Erdrutschen/Hangmuren) und Personen, welche von Hitzewellen betroffen sind, beinhalten, sowie die Abnahme der Erträge infolge der Abnahme der Arbeitsproduktivität, berücksichtigt worden. Im Mittel sind mit totalen Beeinträchtigungen (Zu- und Abnahme der monetarisierten Werte) in der Höhe von rund 100 Mio. Fr. unter dem Szenario schwach und von ca. 222 Mio. Fr. unter dem Szenario stark zu rechnen.

Die Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit sind einzig auf die Abnahme der Toten und Verletzten infolge von Schneelawinen, Steinschlag/Fels-/Bergsturz oder Unfällen infolge von Starkschneefällen zurückzuführen. Die monetarisierten Werte nehmen im Mittel um etwa 0.9 Mio. Fr. unter dem Szenario schwach und ca. 1.8 Mio. Fr. unter dem Szenario stark ab.

Die Totalbilanz (untere Grafik in Abbildung 97) zeigt, dass der Klimawandel insgesamt eine deutlich negative Auswirkung auf den Auswirkungsbereich Gesundheit zur Folge hat. Die Risiken sind klar grösser als die Chancen.

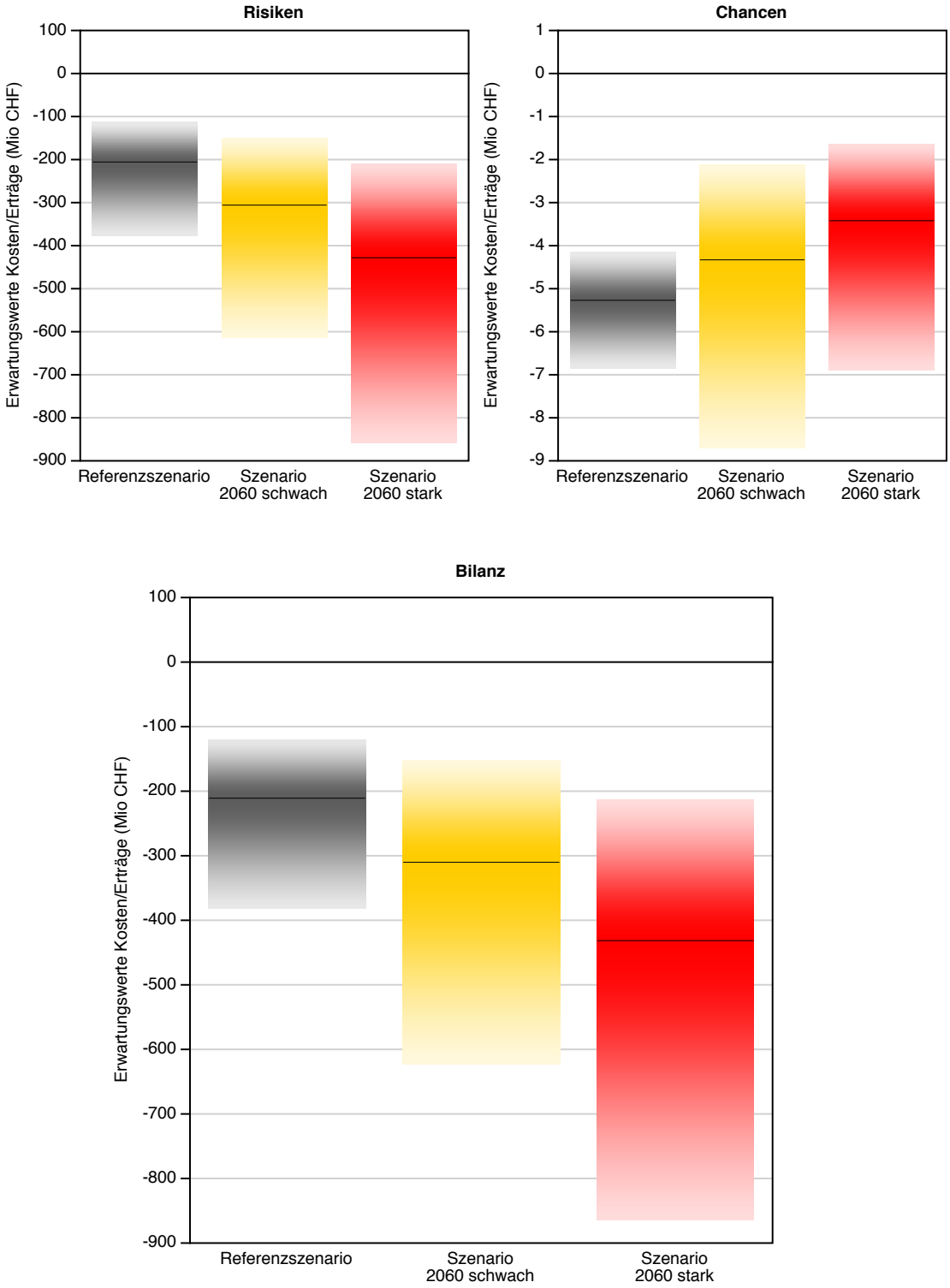


Abbildung 97: ***Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Gesundheit unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Kosten entsprechen den negativen Werten. Zu erwähnen ist, dass die Risiken eine Folge der Zunahme und die Chancen eine Abnahme der Kosten sind. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Gesundheit. Die Abbildung zeigt den Erwartungswert und die entsprechenden Unsicherheiten.***

5.2.4. Qualitative Analyse

In Abbildung 98 ist die Relevanz der Risiken und Chancen, die qualitativ ausgewertet wurden, für den Auswirkungsbereich Gesundheit in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

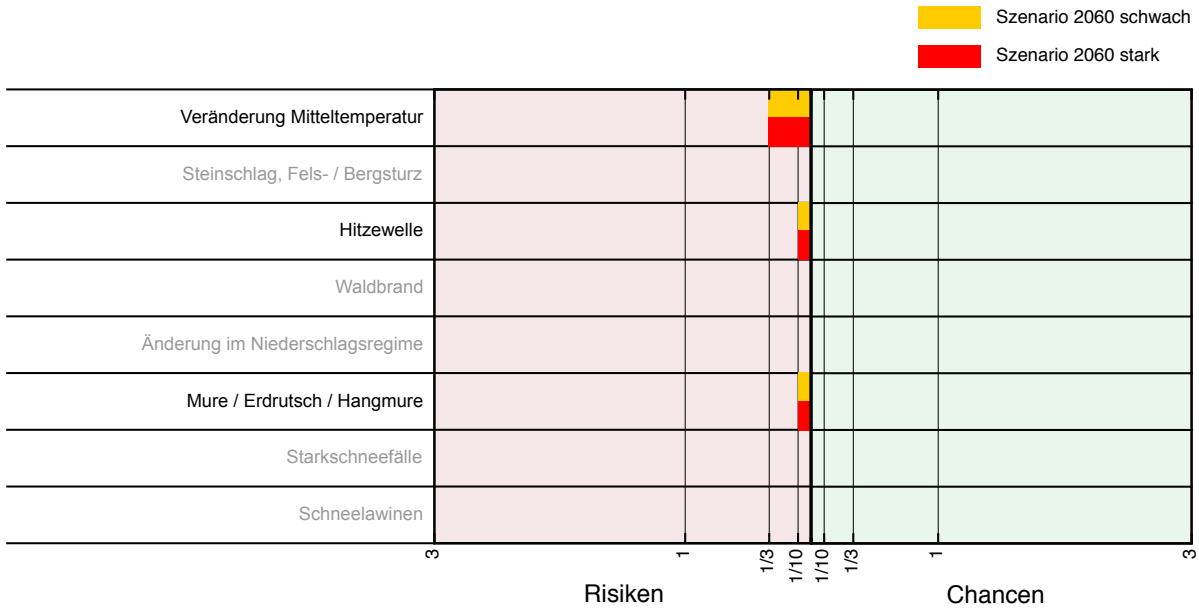


Abbildung 98: ***Qualitative Auswertung der Auswirkungen mittels Faktoren zur Umrechnung pro Gefahr/Effekt des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz der qualitativ ausgewerteten Auswirkungen zeigt, dass die Chancen eine "nicht relevante" Bedeutung in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten aufweisen, während die Risiken (primär aufgrund der Ausbreitung von gebietsfremden Vektoren exotischer Krankheiten, der Luftverschmutzung, verdorbener Nahrungsmittel und der Trinkwasserqualität) eine als „geringer" einzustufende Auswirkung haben.

In Tabelle 44 befinden sich die monetarisierten qualitativ ausgewerteten Auswirkungen für den Auswirkungsbereich Gesundheit.

Auswirkungs-bereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Gesundheit	-53	0	-118	0

Tabelle 44: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Gesundheit (Szenarien schwach und stark).***

5.2.5. Sozioökonomisches Szenario 2060

Bevölkerung

Die sozioökonomischen Szenarien (vgl. Kapitel 4.6) gehen davon aus, dass die Tessiner Bevölkerung bis 2060 um ca. 14.2 % wächst. Speziell wichtig für das sozioökonomische Szenario in Bezug auf die Gesundheit ist die Zunahme der Personen älter als 65 Jahre (45 %) und der Personen, welche von Polymorbidität betroffen sind (10 %). Diese reagieren empfindlicher gegenüber Hitzewellen oder Luftverschmutzung (z.B. erhöhte Feinstaub- oder Ozonwerte).

Gebäude und Wohnungen

Wie bereits im Rahmen der sozioökonomischen Szenarien erläutert wurde (vgl. Kapitel 4.6), ist im Tessin davon auszugehen, dass der Anteil Personen, die in dicht besiedelten Zentren leben, in Zukunft weiter zunehmen wird (Abnahme der Wohnfläche pro Kopf um 6 %). Diese Zunahme wird den Anteil der Bevölkerung erhöhen, die an Hitzewellen leiden werden.

Die energetische Sanierung werden zu einem besseren thermischen Komfort in Gebäuden führen, mit der Konsequenz, dass in Zukunft die Bevölkerung weniger stark den hohen Temperaturen von Hitzewellen ausgesetzt sein wird. Dies wird auch in Gebäuden der Fall sein, welche nicht über eine Klimaanlage verfügen. Nebst den energetischen Sanierungen wird auch die Zunahme der mit Klimaanlagen ausgestatteten Gebäude (Zunahme um 170 %) die durch Hitzewellen erzeugten Gefahren für die Gesundheit weiter abschwächen (CH2014 - Impacts, 2014).

Generell geht die Arbeitsgruppe davon aus, dass diese technologischen Entwicklungen auch jene Konstruktionsstile kompensieren, welche diesbezüglich ungünstig sind, beispielsweise Glasfassaden oder Dachstöcke (z.B. Renovation von alten Konstruktionen).

Naturgefahren

Die Zunahme der bebauten Fläche im Tessin infolge des Bevölkerungswachstums wird zu einer Zunahme von Bauten auf geologisch kritischem Baugrund führen. In Zukunft wird somit von einer Zunahme der Probleme ausgegangen. Infolge von Naturgefahren können grosse Schäden an Gebäuden und Wohnungen entstehen. Das Problem ist dabei nicht der geologische Untergrund an sich, sondern die Bautätigkeit in gefährdeten Gebieten. Aufgrund der Zunahme der bebauten Fläche und der Bevölkerung kann von einem Anstieg der kritischen Zonen um 1.5 % ausgegangen werden.

Strassen und Fahrzeuge

Die Zunahme der Anzahl Fahrzeuge auf den Tessiner-Strassen um 19 % wird zu einem erhöhten Risiko für Unfälle infolge Schnee- oder Eis auf Strassen führen.

In Zukunft erwartet man für das Tessin eine deutliche Zunahme des Strassenverkehrs. Dieser Aspekt zusammen mit den zunehmenden Hitzewellen führt dazu, dass in Zukunft mehr Menschen während Hitzetagen Zeit im Stau verbringen, wodurch ein erhöhtes Gesundheitsrisiko entsteht (z.B. Dehydratation, Hitzschlag etc.).

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios für den Auswirkungsbereich Gesundheit wird als **mittel** eingestuft.

Sozioökonomisches Szenario Gesundheit

Generell lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass unter dem sozioökonomischen Szenario 2060 und dem heutigen Klima die Auswirkungen auf die Gesundheit sehr gering wären. Dies ist primär auf die technischen Massnahmen zurückzuführen, welche bei Neubauten und Renovationen systematisch angewandt werden. Die daraus folgende Konsequenz der Abnahme der Anzahl Opfer infolge von Hitzewellen ist auch der Grund dafür, wieso der gesamte Unsicherheitsbereich unter dem sozioökonomischen Szenario abnimmt (die Unsicherheit ist proportional zum Erwartungswert).

Es lässt sich feststellen, dass für den Auswirkungsbereich Gesundheit die zukünftigen sozioökonomischen Änderungen einen geringeren Einfluss auf die Kosten und Erträge haben als der Klimawandel.

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Schneelawinen							
Tote und Verletzte	-0.69	-0.74	-0.82	1.02	-0.4	-0.8	-1.5
Starkschneefälle							
Strassenverkehrsunfälle	-4.2	-4.5	-4.9	1.2	-2.7	-5.3	-10.7
Mure/Erdrutsch/Hangmure							
Tote und Verletzte	-3.4	-3.6	-4.0	1.02	-1.8	-3.7	-7.4
Hitzewelle							
Tote	-76	-152	-304	0.33	-25	-50	-101
Einlieferungen	-15	-19	-25	0.42	-4	-8	-16
Hitzebetroffene	-20	-26	-33	0.30	-4	-8	-15
Abnahme der Arbeitsproduktivität	-4	-5	-7	0.28	-1	-2	-3
Steinschlag/Fels-/Bergsturz							
Verletzte	-0.02	-0.03	-0.04	1.02	-0.02	-0.03	-0.06
Bilanz	**-379**	**-211**	**-124**	**-**	**-152**	**-78**	**-38**

Tabelle 45: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Gesundheit. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

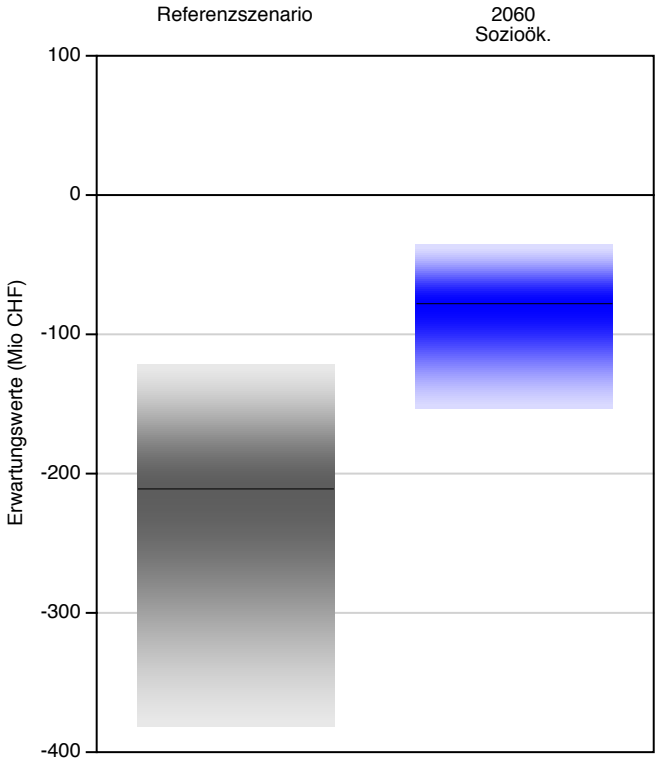


Abbildung 99: ***Grafische Darstellung der heutigen Kosten/Erträge und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Gesundheit. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.***

Was die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen betrifft, ist wichtig zu erwähnen, dass die Bevölkerungsverdichtung (mehr Einwohner in urbanen Zentren) die Ausbreitung von Krankheiten begünstigt, die durch gebietsfremde Vektoren übertragen werden. Die Arbeitsgruppe geht aber davon aus, dass dieser Effekt durch die bereits bestehenden Massnahmen der kantonalen Behörden (z.B. Monitoring der Verbreitung der Asiatischen Tigermücke und der Informationsaustausch mit den Ärzten) kompensiert wird.

5.2.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Gesundheit

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Gesundheit ermöglicht die Erkennung bedeutender Risiken. Die Risiken des Klimawandels zeigen sich als **sehr negativ**, dies sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark (Kosten von rund 153 Mio. Fr./Jahr resp. 340 Mio. Fr./Jahr). Die Chancen erweisen sich als unbedeutender; **leicht positiv** sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark (Abnahme der Kosten von ca. 1 Mio. Fr./Jahr resp. 2 Mio. Fr./Jahr). Insgesamt sind die Auswirkungen unter beiden Szenarien als **sehr negativ** zu bewerten (Kosten von ca. 152 Mio. Fr./Jahr resp. 338 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit erweisen sich hingegen als **sehr positiv** (Abnahme der Kosten um ca. 133 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.3. LANDWIRTSCHAFT

5.3.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Zwischen 1990 und 2005 nahm die Anzahl registrierter Bauernbetriebe pro Jahr um 3.3 % ab. Darauf erfolgte wieder ein leichter Anstieg um jährlich 0.7 %. Die Anzahl Haupterwerbsbetriebe ist nahezu konstant geblieben. Im Jahr 2012 wurden im Tessin 46 % der Betriebe im Nebenerwerb geführt. Zum Vergleich: gesamtschweizerisch sind es 29 %. Im Tessin besitzen rund die Hälfte (47 %) der Verantwortlichen der Bauernbetriebe keine landwirtschaftliche Ausbildung, in der Schweiz liegt der Anteil bei ca. 27 % (Flury & Giuliani GmbH, 2014).

Im Landwirtschaftssektor des Kantons Tessin sind 2‘052 Personen tätig. Von diesen sind ca. 43 % Vollzeit beschäftigt (Daten beziehen sich auf das Jahr 2012). In den letzten zwei Dekaden (1990 bis 2012) sank die totale Anzahl der im Landwirtschaftssektor tätigen Personen um 38 %, im Mittel um 2 % pro Jahr. In den letzten Jahren (nach 2012) hat sich die Lage bei einer Anzahl von 2‘095 Vollzeitbeschäftigten stabilisiert; die Abnahme der Vollzeit Angestellten wird durch die gleichzeitige Zunahme der Teilzeitangestellten ausgeglichen (UStat, 2012).

Auf eine vorwiegende Professionalisierung der Aktivitäten weist auchdie Entwicklung über die Grösse der Betriebe hin: in den letzten Jahren nahmen die kleinen Betriebe mit weniger als 10 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) tendenziell ab.

Ab 2009 nahm die LN zu, insbesondere aufgrund zunehmender Flächen an Wiesen und Weiden im Berggebiet (wenig produktives Gebiet) und zunehmender Dauerkulturen. Die anderen LN nehmen seit 2003 ab (im Mittel um 2 % pro Jahr). Insgesamt beträgt die LN 14‘360 ha (2013) (BFS, 2014). Bei dieser Zahl wurden die Alpen (Alpwirtschaft) nicht berücksichtigt; im Tessin wurden im 2013 insgesamt 245 Alpen mit Nutztieren bestossen.

Wirtschafsleistung des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft

Der **Produktionswert** (Gesamtwert der erzeugten Waren und Dienstleistungen sowohl zum Verkauf als auch Eigenverbrauch) der Tessiner Landwirtschaft im Jahr 2010 betrug 146 Mio. Fr. (UCT, 2013).

Die **Bruttowertschöpfung** (Gesamtwert der Waren und Dienstleistungen sowohl zum Verkauf als auch Eigenverbrauch) wird in der Regel durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten ermittelt (z.B. Futtermittel zur Milchproduktion). Unter Berücksichtigung mehrerer Quellen (UCT, 2013) betrug sie im Kanton Tessin im Jahr 2010 rund 95.6 Mio. Fr.

Die **Nettowertschöpfung** ist der nach dem Abzug der Abschreibungen von der Bruttowertschöpfung verbleibende Restbetrag. Im Tessin betrug sie im Jahr 2010 11 Mio. Fr.

In der Landwirtschaft werden die **Produktionsbeiträge (Direktzahlungen)**, welche im Jahr 2010 im Tessin 42 Mio. Fr. betrugen (BFS, 2015c), mit der Nettowertschöpfung addiert.

Die Beträge der Wirtschaftsleistung können in 5 relevante Subsektoren unterteilt werden: Ackerbau, Gemüsebau, Dauerkulturen, Wiesen/Weiden und Nutztiere sowie Alpwirtschaft

und Nutztiere. Es ist wichtig, die letzteren beiden zu unterscheiden, da sie statistisch unabhängig voneinander ausgewertet werden (Jahres- und Sömmerungsbetriebe[13]).

Soweit möglich werden die Auswirkungen des Klimawandels für jeden der fünf Subsektoren separat ausgewertet. Die wirtschaftlichen Kennzahlen der Letzteren werden in Tabelle 46 aufgeführt. Der relative Anteil der einzelnen Subsektoren wurde mittels Gewichtung hergeleitet (vgl. erste Zeile der Tabelle 46). Einzige Ausnahme ist der Produktionswert für Kuhmilch, Ziegenmilch und Schaffleisch: ein Drittel des Werts dieser Produktion wurde dem Subsektor „Alpwirtschaft und Nutztiere" und zwei Drittel dem Subsektor „Wiesen/Weiden und Nutztiere" zugewiesen, dies aus folgenden Gründen:

a) Die Sömmerung dauert in der Regel 100 Tage.

b) Die Daten des Kantons Tessin (Sezione dell'agricoltura, 2013) ergeben, dass im Jahr 2010 die Direktzahlungen für die Sömmerung annäherungsweise gleich sind wie jene für die Grossvieheinheiten (GVE), die unter schwierigen Bedingungen gehalten werden[14].

c) Die Wertschöpfung der für Alpkäse verwendeten Milch liegt momentan 35 % über jener von Frischmilch (Masseria Ramello, U. e A. Feitknecht).

	Pflanzenproduktion			**Tierproduktion**		**Total**
	Ackerbau	**Gemüsebau (Freiland und geschützt)**	**Dauerkulturen (Obst- und Weinbau, andere)**	**Wiesen/Weiden und Nutztiere**	**Alpwirtschaft und Nutztiere**	
Relative Anteile der Subsektoren[15]	3 %	29 %	29 %	32 %	7 %	**100 % (I)**
Produktionswert der Tessiner Landwirtschaft (Mio. Fr.)	4.4	42.3	42.3	46.7	10.2	**146 (II)**
Nettowertschöpfung der Subsekotoren 2010 (Mio. Fr.)	0.3	3.3	3.3	3.6	0.8	**11 (II)**
Allgemeine Direktzahlungen (unabhängig des Subsektors; 2010; Mio. Fr.)	0.7	6.4	6.4	7.0	1.5	**22 (II)**
Direktzahlungen (einem spezifischen Subsektor zugeordnet; Mio. Fr.)	0.3	n.v.	0.3	16	3.3	**20 (I)**
Nettoertrag der Tessiner Landwirtschaft (Mio. Fr.)	**1.3**	**9.6**	**10**	**26.6**	**5.6**	**53**

Tabelle 46: ***Wirtschaftliche Bedeutung unter den verschiedenen Subsektoren für den Produktionswert, die Nettowertschöpfung, die Direktzahlungen der Tessiner Landwirtschaft im Jahr 2010. n.v. = nicht verfügbar. Quellen: (I)*** (UCT, 2013)***, (II)*** (BFS, 2015c)***.***

[13] Sömmerungsbetriebe sind Alpen, welche zu landwirtschaftlichen Zwecken genutzt werden (mit Nutztieren), dies während einer bestimmten Jahresperiode (rund 100 Tage).

[14] Seit 2014 existiert dieses System nicht mehr. Heute basieren Direktzahlungen auf der Landwirtschaftsfläche und nicht auf der Anzahl Vieheinheit. Höchstwahrscheinlich wird infolge dieser Änderung in den folgenden Jahren eine Abnahme der Tiere eintreten.

[15] Die relative Gewichtung basiert auf dem Produktionswert der Tessiner Landwirtschaft.

Schweizweit macht die Tierproduktion 56 % des Produktionswerts aus, während er im Tessin bloss 39 % deckt.

Zur Verfügung stehende Datenbanken

Für die quantitative Analyse der Risiken und Chancen der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft wurden Daten unterschiedlicher Quellen ausgewertet. Dazu zählen Datenbanken, Literatur und Information von Experten. In Tabelle 47 sind alle verwendeten Datenbanken aufgeführt.

Gefahr/Effekt	Datenquelle	Eigenschaften	Beobachtungszeitraum
Hochwasser und Mure/Erdrutsch/Hangmure	Unwetterschadens-Datenbank der WSL (WSL, 2015b).	Die Datenbank basiert auf Informationen, welche aus Mitteilungen von Medien entnommen wurden. Diese gruppieren die von Naturgefahren verursachten Schäden: Hochwasser, Murgängen, Rutschungen und (seit 2002) Steinschlag/Fels-/Bergsturz. Die Datenbank enthält ausserdem, wenn möglich, die mögliche meteorologische Ursache dieser Naturgefahren (Starkniederschläge, Gewitter oder Schneeschmelze).	1972-2014
Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan	Schweizerischer Fonds für Hilfe bei nicht versicherbaren Elementarschäden (Elementarschädenfonds, 2015).	Der Fonds leistet Beiträge an Schäden, die durch nicht vorhersehbare Naturereignisse verursacht wurden und gegen die man sich zurzeit nicht versichern kann. Die systematische Sammlung dieser Daten führte zu einem detaillierten Informationsgehalt über die Tessiner Landwirtschaft.	1995-2014
Sturm/Orkan	Hagelversicherung (Schweizer Hagel, 2015).	Die Versicherung Schweizer Hagel sieht Entschädigungen für alle Schäden an Landwirtschaftsland und Landwirtschaftsprodukten, welche durch Hagel oder andere Naturgefahren verursacht werden, vor. Zudem gewährt sie Entschädigungen für Ertragsausfälle und Wiederinstandsetzungskosten (Aufräumung). Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen und mobilen Gütern des Betriebs (im Auswirkungsbereich „Infrastrukturen und Gebäude“ ausgewertet) sind jedoch nicht gedeckt.	2000-2014

Tabelle 47: Eigenschaften der verwendeten Datenbanken für die quantitative Analyse des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft.

5.3.2. Gefahren und Effekte 2060

Gemäss der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) müssen für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft folgende Gefahren und Effekte ausgewertet werden: Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel, Änderung im Niederschlagsregime, Allgemeine Trockenheit, Hitzewelle, Frost, Veränderung Mitteltemperatur und Sturm/Orkan. Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in ***Tabelle 48***. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft ist in Abbildung 100 ersichtlich. Im Auswirkungsbereich Landwirtschaft werden alle Folgen des Klimawandels in nachfolgenden Gebieten berücksichtigt:

- Landwirtschaftliche Produktion;
- Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN);
- Bauernbetriebe.

Dabei werden die Art, die Menge und Qualität der landwirtschaftlichen Produktion, die Schwankungen der Erträge, der Wasserbedarf zur Bewässerung und die eingesetzte Arbeitskraft berücksichtigt. Das Auftreten von neuen pathogenen Organismen für die landwirtschaftliche Produktion wird hier erläutert, und nicht im Auswirkungsbereich Biodiversität. Die Auswirkungen auf die Infrastrukturen und mobile landwirtschaftliche Güter werden hingegen im Auswirkungsbereich „Infrastrukturen und Gebäude“ analysiert.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Im Jahr 2011 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) eine Klimastrategie entwickelt, mit dem Ziel, Treibhausgasemissionen zu senken und Strategien zur Anpassung an den Klimawandel festzulegen (Bundesamt für Landwirtschaft, 2010). Dabei stellte sich heraus, dass bei einer Zunahme der Mitteltemperatur um weniger als 2°C, bei gleichbleibenden Wasserangebot und Nährstoffen, die Erträge des Ackerbaus und des Futtermittelanbaus schweizweit in den meisten Gebieten zunehmen werden. Aufgrund der kontinentalen Lage und der komplexen Topografie der Alpen wird die Temperaturzunahme in der Schweiz höher ausfallen als im globalen Mittel. Obwohl die Schweiz heute ein allgemein hohes Wasserangebot aufweist, wird es in Zukunft vermehrt zu Trockenperioden kommen, welche die Landwirtschaft gefährden könnten. Diese Perioden werden während der Vegetationszeit auftreten und werden in erster Linie mit den saisonalen Schwankungen im Niederschlagsregime gekoppelt sein (Intensität und Häufigkeit). Dieser Aspekt wird insbesondere für die Tessiner Landwirtschaft von Bedeutung sein, wo die erwähnten Trockenperioden speziell häufig auftreten werden.

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der ***Tabelle 48*** sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Das Handlungsfeld L1 (Standorteignung) wird hier oft aufgeführt. Die Massnahmen I1 (Optimierter Einsatz von angepassten Sorten und Rassen inkl. Umgang mit Schadorganismen), und I3 (Erarbeitung von Grundlagen für die standortangepasste Bewirtschaftung) werden als am wichtigsten erachtet.

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungsfelder	Massnahmen
Hochwasser	Zunahme der Schäden an Kulturland.		N1	n1-n7
		Zunahme der Ertragseinbussen beim Kulturland.	N1	n1-n7
Mure/Erdrutsch/Hangmure	Zunahme der Schäden an Kulturland.		N3	n1-n7
		Abnahme der Fruchtbarkeit des Bodens.	N3	n1-n7
		Zunahme der Ertragseinbussen beim Kulturland.	N3	n1-n7
Gewitter/Hagel	Änderung der Schäden und Ertragseinbussen beim Kulturland.		L2	I5
Änderung im Niederschlagsregime	Zunahme der Erträge und der Qualität der Produkte. Abnahme der Erträge und Qualität der Produkte einiger Ackerbautypen.		L1; L2; L5	I1; I2; I3; I4; I6
		Mögliche verzögerte Saat aufgrund der Zunahme des Niederschlags im Frühjahr.	L2	I3; I6
Allgemeine Trockenheit	Abnahme der Erträge und der Qualität der Produkte der Subsektoren Ackerbau, Gemüsebau, Dauerkulturen und Wiesen/Weiden und Nutztiere.		L1; L3; L4; W4; W8	I1; I2; I3; I4; I6; w4; w6
		Zunahme der Schäden an Alpwirtschaften.	L1; L3; L4; W4	I1; I2; I3; I6; w4
Frost		Abnahme der Schäden an Kulturpflanzen.	L1; L5	I1
Veränderung Mitteltemperatur	Zunahme der Erträge und Qualität der Produkte.		L1; L5	I1; I3; I4; I6
Sturm/Orkan	Änderung der Schäden an Kulturland.		L6	I5

Tabelle 48: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün und die mittels Sensitivitätsanalyse ausgewerteten Auswirkungen in blau dargestellt.***

Wirkungsmodell

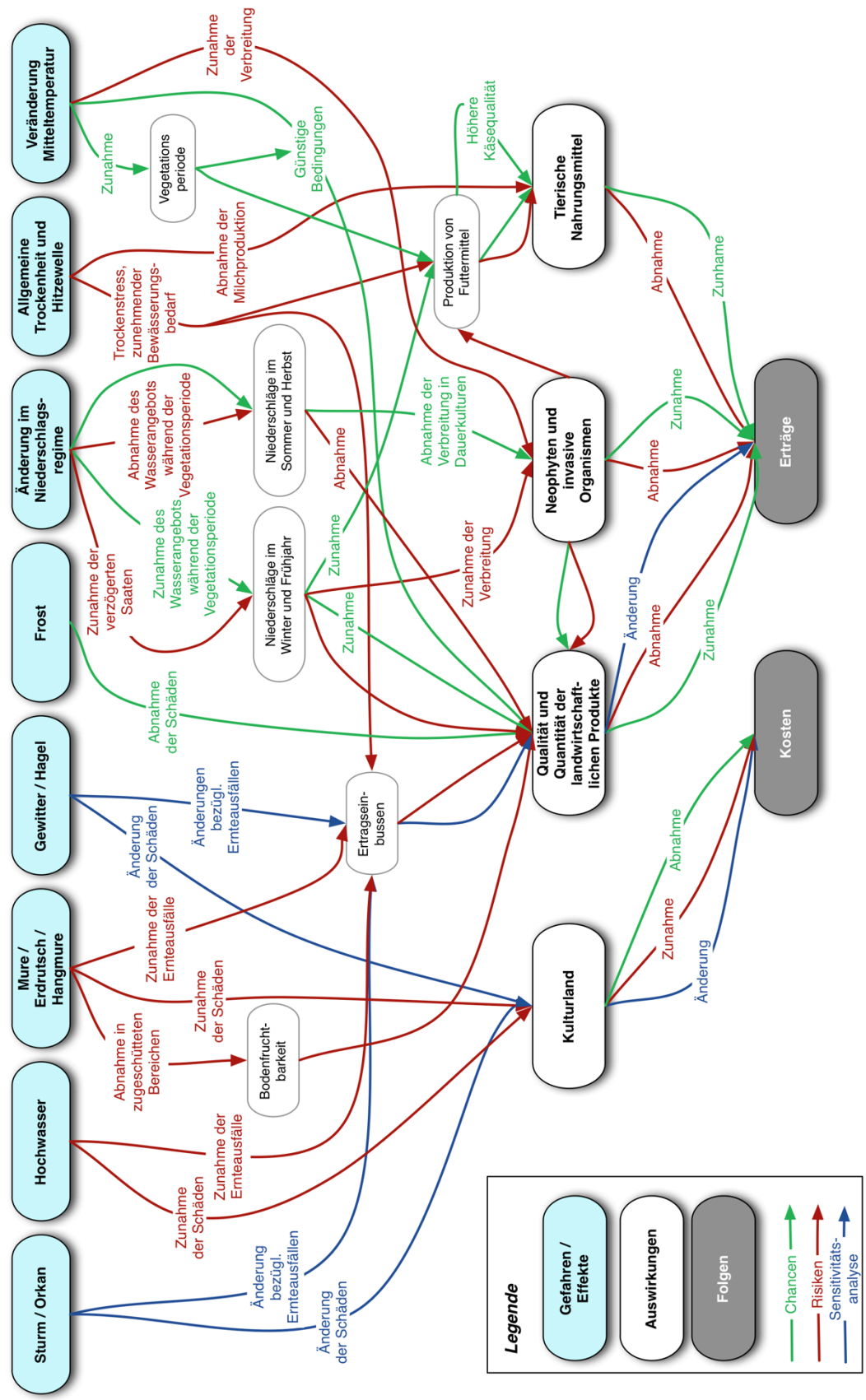


Abbildung 100: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft.

Hochwasser

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Kulturland

Überschwemmungen von Seen oder Flüssen im Bereich von Kulturland können zu grossen Schäden in der landwirtschaftlichen Produktion führen.

Die Auswertung dieser Schäden basiert auf zwei Quellen: Die Unwetterschadens-Datenbank der WSL und der Elementarschädenfonds (vgl. Tabelle 47). Die erste Datenbank enthält Daten grosser Schäden, während die zweite die nicht versicherten Schäden berücksichtigt (hier gehören auch die kleinen Schäden dazu). Auch wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass Daten zweimal gezählt werden, da die beiden Datenbanken nicht untereinander verknüpft sind, wurden sie gemeinsam analysiert. Es ist gleichwohl zu erwähnen, dass die Daten der zweiten Quelle ca. einen Drittel der ersten ausmachen. Die nur mittels erster Datenbank berechnete Schadensumme würde somit nicht gross von jener abweichen, die mit beiden Datenbanken berechnet wird.

Basierend auf der Analyse von Daten des Zeitraums 1980 bis heute (Referenzszenario) und der Unterteilung der Ereignisjahre in Klassen mit spezifischen Wiederkehrperioden (analog Beschrieb in Kapitel 3.5) wird von einem Erwartungswert der Schäden am Kulturland infolge von Hochwasser von ca. 2.2 Mio. Fr. pro Jahr ausgegangen. Diese Kosten entsprechen rund 20 % der Nettowertschöpfung der Tessiner Landwirtschaft des Jahres 2010.

Im Jahr 1993, als es zu grossen Überschwemmungen des Lago Maggiore kam, wurden bisher am meisten Schäden am Kulturland und damit an der landwirtschaftlichen Produktion festgestellt. Es waren ca. 20 Mio. Fr. Dieser Betrag entspricht rund 50 % aller registrierten Hochwasserschäden des Zeitraums 1980 bis heute. Die Schäden des Jahres 1993 erweisen sich als höher als die mittels Gumbel-Analyse berechneten (vgl. Kapitel 3.7). Das Ereignis kann somit als hundertjährlich betrachtet werden.

Unter dem Szenario schwach wird bezüglich der Gefahr Hochwasser mit keinen Änderungen gerechnet (vgl. Kapitel 4.5.8), somit bleibt der Erwartungswert der Schäden infolge von Hochwasser unverändert. Unter dem Szenario stark wird hingegen mit einer Zunahme von 40 % der Hochwasserereignisse gerechnet, so dass von einer Zunahme der Schäden an Kulturland ausgegangen werden muss.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die möglicherweise unvollständigen Daten und die Schwankungen der Schäden je nach Jahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Hochwasserereignisse hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen beim Kulturland

Nebst den direkten Schäden, die Hochwasser am Kulturland anrichtet, kommt es auch zu einer Abnahme der Erträge (beschädigte Produkte können nicht mehr verkauft werden). Überschwemmungen von Seen (primäre Ursache von Schäden an Kulturland im Tessin)

können grosse landwirtschaftlich genutzte Flächen beschädigen und über mehrere Wochen fortbestehen.

Unter dem Szenario stark bewertet die Arbeitsgruppe dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft als **geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken. Unter dem Szenario schwach werden keine Änderungen bezüglich der Entwicklung von Hochwasser erwartet. Aus disem Grund wird davon ausgegangen, dass dieses Risiko im Vergleich zu heute unverändert bleibt (klimabedingtes Risiko ist als **nicht relevant** einzustufen).

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Kulturland

Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure kann grosse Schäden am Kulturland verursachen. Wie die Gefahr Hochwasser stammen auch in diesem Fall die Daten zur Auswertung aus zwei Quellen. Es sind wiederum die Unwetterschadens-Datenbank der WSL und der Elementarschädenfonds (vgl. Tabelle 47). Beide wurden auch hier zusammen ausgewertet.

Unter dem Referenzszenario wurden die Schäden ab 1980 analysiert. Die Auswertung basiert auf der Unterteilung der Ereignisse in Bezug auf deren Wiederkehrperiode (analog Beschrieb in Kapitel 3.5). Der Erwartungswert der Schäden an Kulturland infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure beläuft sich auf 0.34 Mio. Fr. pro Jahr. Diese Kosten entsprechen ca. 3 % der Tessiner Nettowertschöpfung des Jahres 2010.

Die langanhaltenden Niederschläge im Jahr 1993 und die daraus folgenden Muren, Erdrutsche und Hangmuren führten zu Schäden an Kulturland in der Höhe von 2.1 Mio. Fr. (im Vergleich zu den anderen Jahren ein sehr hoher Wert). Dieser Wert übersteigt den mittels Gumbel-Analyse berechneten (vgl. Kapitel 3.7). Das Ereignis kann somit als hundertjährlich betrachtet werden.

Die Analyse der meteorologischen Ursachen zeigt, dass die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure, welche Kulturland beschädigt, in erster Linie durch andauernde Niederschläge und nur zu einem kleinen Teil durch Gewitter ausgelöst wird (WSL, 2015b).

Die Auswertung der Schäden unter den zukünftigen Szenarien basiert auf der Annahme, dass sie proportional zur Änderung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure ist (vgl. Kapitel 4.5.4). Die Analyse dieser Änderung, in Bezug auf die verschiedenen Ereignisse und nach Wiederkehrperiode unterteilt, ergibt eine Zunahme der Schäden um 6 % unter dem Szenario schwach und um 49 % unter dem Szenario stark.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf möglicherweise unvollständige Daten und die Schwankungen der Schäden je nach Jahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen beim Kulturland

Nebst den direkten Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure, führt die Gefahr auch zu einem Rückgang der Erträge aufgrund von Einbussen der kultivierten Flächen. Beschädigtes Erntegut kann nicht mehr verkauft werden.

Da die erwähnte Gefahr in der Regel eher kleine Flächen des Kulturlandes betreffen, und da die Aufräumarbeiten generell nicht lange dauern, bewertet die Arbeitsgruppe dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft, unter beiden zukünftigen Szenarien, als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken.

Gewitter/Hagel

Quantitative Auswirkungen

Schäden und Ertragseinbussen beim Kulturland

Die Schweiz gehört in Europa zu den Ländern mit einem hohen Risiko bezüglich der Gefahr Gewitter/Hagel. Diese Naturgefahr kann zu grossen Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen im Freien und in Gewächshäusern führen.

Die Daten zur Auswertung dieses Risikos stammen aus zwei Quellen. Einerseits von der Hagelversicherung Schweizer Hagel und andererseits vom Elementarschädenfonds (vgl. Tabelle 47). Auch in diesem Fall kann ein doppeltes Zählen der Daten nicht restlos verhindert werden, da die beiden Datenbanken nicht miteinander verknüpft sind. Insegsamt stammen weniger Daten aus der zweiten Quelle (die Schadensumme der zweiten Quelle des Zeitraums 2000 bis 2014 entspricht 17 % der Schäden, die von der ersten Quelle abgeleitet wurden).

Der Erwartungswert der Schäden und Ertragseinbussen beim Kulturland infolge der Gefahr Gewitter/Hagel (vor allem für den Gemüse- und Weinbau relevant) wurde mittels der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methode auf 0.63 Mio. Fr. pro Jahr geschätzt. Diese Kosten entsprechen rund 6 % der Nettowertschöpfung der Tessiner Landwirtschaft des Jahres 2010.

Im Beobachtungszeitraum 2000 – 2014 wurden im Jahr 2000 am meisten Schäden registriert (2.6 Mio. Fr. Schadensumme). Da die Schäden dieses Jahres höher sind als jene, welche mittels der Gumbel-Analyse ermittelt wurden (vgl. Kapitel 3.7), kann davon ausgegangen werden, dass diese ein hundertjährliches Ereignis repräsentieren.

Eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Entwicklung der Häufigkeit und Intensität der Gefahr Gewitter/Hagel ist zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Unter beiden zukünftigen Klimaszenarien wird somit davon ausgegangen, dass sich diese Gefahr in Zukunft nicht verändern wird. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.3.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die möglicherweise unvollständigen Daten und die Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet.

Änderung im Niederschlagsregime

Quantitative Auswirkungen

Änderungen der Erträge

Für die Landwirtschaft ist das Wasserangebot der wichtigste Faktor für die Qualität und Quantität der Ernte. Die Niederschlagsverhältnisse der verschiedenen Jahreszeiten spielen diesbezüglich eine wichtige Rolle.

Die Schwankungen der Erträge infolge der Änderung des Niederschlagsregimes basieren auf dem Nettoertrag jedes landwirtschaftlichen Subsektors (vgl. Tabelle 46). Es wird also davon ausgegangen, dass die Direktzahlungen für die Landwirtschaft konstant bleiben.

Für den Ackerbau könnte die Zunahme des Niederschlags im Winter und Frühjahr (vgl. Kapitel 4.3.2) zu einer besseren Produktion für jene Kulturen führen, die im Frühjahr wachsen. Die Fläche für den Reisanbau (trocken) erstreckt sich im Tessin heute über 90 ha (Jahr 2013) im Bereich des Maggia-Deltas und der Magadinoebene. Diese Kulturen sind äusserst empfindlich gegenüber dem Niederschlagsregime, insbes. während der Wachstumsphase. Der Anstieg des Niederschlags im Frühjahr könnte somit zu einem grösseren Wasserangebot dieser Kulturen führen mit einer gleichzeitigen Abnahme der Bewässerungskosten, wodurch die Erträge steigen. Die im Sommer wachsenden Kulturen hingegen werden infolge der abnehmenden Niederschläge benachteiligt (vgl. Kapitel 4.3.2). Die Abnahme könnte insbes. während der Blütezeit kritisch sein, da dann das Wasser besonders wichtig ist. Für verschiedene Getreidesorten könnte die Zunahme des Niederschlags im Frühjahr (vor allem unter dem Szenario stark) eine negative Auswirkung haben, da die Ausbreitung von Pilzkrankheiten dadurch begünstigt wird. Im Tessin könnte diese Problematik von grosser Bedeutung sein, da vor allem Getreide angebaut werden, deren chemische Behandlung nicht erlaubt ist. Die Änderung des Niederschlagsregimes könnte zudem die Verbreitung von schädlichen Organismen begünstigen (wie z.B. *Phytophthora infestans* bei Kartoffeln), welche zu einem Anstieg der Kosten für die Aufrechterhaltung der Ernteerträge führen. In der Vergangenheit wurde festgestellt, dass in Jahren mit besonders viel Niederschlag im Frühjahr diese Kosten aussergewöhnlich hoch waren (Pflanzenkrankheiten, 2015). Da die Änderung im Niederschlagsregime für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft sowohl negative als auch positive Auswirkungen aufweist, geht die Arbeitsgruppe davon aus, dass die Erträge bis 2060 annäherungsweise gleich bleiben.

Der Tessiner Gemüsebau erstreckt sich über eine Fläche von ca. 180 ha, von der 38 % von Gewächshäusern bedeckt sind (SZG/CCM/CSO, 2015). Dieser Anteil liegt im Vergleich zur übrigen Schweiz deutlich höher. Ein Teil des offenen Gemüseanbaus wird zudem künstlich bewässert (hochwertige Kulturen wie der Reis und Mais inbegriffen). Da die bewässerten und in Gewächshäusern vorkommenden Kulturen nicht vom Niederschlag beeinflusst werden, geht die Arbeitsgruppe davon aus, dass sich die Erträge dieses Subsektors infolge der Änderungen im Niederschlagsregime bis 2060 nicht ändern werden.

Die Abnahme des Niederschlags im Sommer und Herbst (vgl. Kapitel 4.3.2) wird evtl. zu einer Abnahme pathogener Organismen (Krankheitserreger) von Dauerkulturen führen. Unter dem Szenario schwach wird dies vor allem im Sommer von Bedeutung (die Niederschläge im Herbst werden sich nur geringfügig ändern), während es unter dem Szenario stark sowohl im Sommer als auch im Herbst bemerkbar sein wird. Aufgrund der geringeren Kosten

und Schäden, die durch solche Organismen verursacht werden, könnten die Erträge der Produktion dieses Subsektors steigen. In Abbildung 101 ist die Korrelation zwischen dem mittleren Zuckergehalt der Tessiner Merlot-Traube und der Niederschlagssumme der Monate Juni bis Oktober (Sommer und Herbst) grafisch dargestellt. Obwohl die Korrelation nur schwach ist, ist erkennbar, dass geringe Niederschläge im Sommer zu einer besseren Traubenqualität und damit zu einem höheren Ertrag in diesem Subsektor führen. Nebst dieser positiven Auswirkung wird die zukünftige Zunahme der Niederschläge im Frühjahr (unter beiden Szenarien prognostiziert) zu einer Zunahme pathogener Organismen führen (wie z.B. *Peronospora destructor*), welche höhere Kosten für den Erhalt der Erträge von Dauerkulturen nach sich ziehen, insbes. unter dem Szenario stark. Im grossen Ganzen schätzt die Arbeitsgruppe, dass für diesen Subsektor (Dauerkulturen) die Erträge, unter beiden Szenarien, um ca. 5 % zunehmen werden.

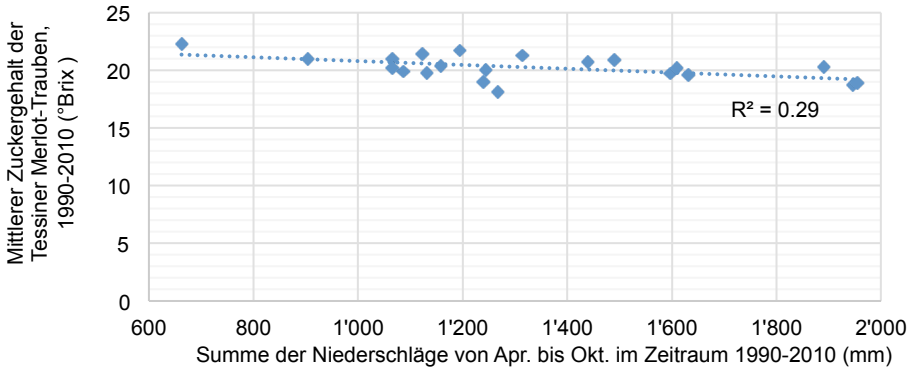


Abbildung 101: Korrelation zwischen dem mittleren Zuckergehalt der Tessiner Traubensorte Merlot (Sezione dell'agricoltura, 2015) und der Niederschlagssumme in Locarno Monti zwischen Juni und Oktober im Zeitraum 1990 bis 2010 (OASI, 2015b).

Auch beim Subsektor Wiesen/Weiden und Nutztiere wird die Zunahme der Niederschläge im Frühjahr Vorteile bringen. Das grössere Wasserangebot könnte vor allem für den Futtermittelanbau positiv sein. Auch in diesem Fall könnten die Vorteile durch die zunehmende Verbreitung pathogener und invasiver gebietsfremder Organismen abgeschwächt werden. Zusammenfassend ist bei diesem Subsektor mit einer Kompensation der positiven und negativen Auswirkungen zu rechnen, so dass die Erträge insgesamt gleich bleiben.

Obwohl in geringerem Ausmass als beim Subsektor Wiesen/Weiden und Nutztiere, wird auch der Subsektor Alpwirtschaft und Nutztiere von der Zunahme der Niederschläge im Winter und Frühling profitieren. Auch für diesen Subsektor werden die Vorteile durch die Verbreitung von invasiven gebietsfremden Organismen abgeschwächt. Insgesamt ist beim Subsektor Alpwirtschaft und Nutztiere davon auszugehen, dass sich die Erträge und Kosten kompensieren.

In Tabelle 49 sind die Änderungen der Erträge in den verschiedenen landwirtschaftlichen Subsektoren infolge der Änderung im Niederschlagsregime dargestellt. In der Totalbilanz (vgl. Kapitel 5.3.3) wird davon ausgegangen, dass heute die Änderung der Erträge infolge der Änderung im Niederschlagsregime 0 Mio. Fr. pro Jahr entspricht. Für die zukünftigen Szenarien wird die Änderung basierend auf den in Tabelle 49 aufgeführten Werte der Nettowertschöpfung des Tessins (11.3 Mio. Fr.) ermittelt.

Bei den zukünftigen Schätzungen ist die Unsicherheit auf die jährlichen Schwankungen der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft, die Schwierigkeit der Zuordnung der landwirtschaftlichen Produktion gegenüber Änderungen im Niederschlagsregime und die Verbreitung pathogener Organismen zurückzuführen. Sie wird als **mittel** eingestuft.

	Nettowertschöpfung 2010	Änderung der Erträge (%)	
		Szenario schwach	Szenario stark
Ackerbau	0.3	-	-
Gemüsebau	3.3	-	-
Dauerkulturen	3.3	5 %	5 %
Wiesen/Weiden und Nutztiere	3.6	-	-
Alpwirtschaft und Nutztiere	0.8	-	-
Total	**11.3**	**1.5 %**	**1.5 %**

Tabelle 49: ***Änderung der Erträge bei den unterschiedlichen Subsektoren infolge der Änderung im Niederschlagsregime unter den Szenarien schwach und stark.***

Qualitative Auswirkungen

Verzögerte Saat

Die Zunahme der Niederschläge im Frühjahr ist insbes. unter dem Szenario stark von grosser Bedeutung. So wird die Saat während zu starken Niederschlägen im Frühjahr verunmöglicht. Eine Zunahme der Niederschläge in dieser Jahreszeit würde zu einem Anstieg der verzögerten Saaten führen. Die verspätete Saat führt zu einer Abnahme der Produktivität, aufgrund der kürzeren verfügbaren Zeitspanne bis zur Reifung der Kulturen.

Da nur unter Szenario stark eine Zunahme der Niederschläge im Frühjahr prognostiziert wird (vgl. Kapitel 4.3.2), bewertet die Arbeitsgruppe dieses Risiko unter dem Szenario stark als **deutlich geringer** und unter dem Szenario schwach als **nicht relevant** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft.

Allgemeine Trockenheit und Hitzewellen

Quantitative Auswirkungen

Änderungen der Erträge

Für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft ist allgemeine Trockenheit nur während den Sommermonaten relevant (während der Vegetationsperiode der Freilandkulturen). Allgemeine Trockenheit und Hitzewellen sind meistens miteinander gekoppelt. Eine Hitzewelle im Sommer tritt oft in Begleitung einer längeren Periode ohne Niederschläge auf (und umgekehrt). Ein Beispiel dieser Korrelation ist der Sommer 2003, wo diese meteorologischen Bedingungen deutlich länger anhielten, als im langjährigen Mittel. Für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft können die Daten zu den beiden Gefahren respektive die Abnahme der Erträge nicht separat ausgewertet werden. Es ist zudem möglich, dass bei einer separaten

Auswertung die Kosten aufgrund Allgemeiner Trockenheit und Hitzewellen kleiner ausfallen, als wenn sie gemeinsam ausgewertet würden. Infolgedessen hat die Arbeitsgruppe entschieden, die beiden Gefahren/Effekte gemeinsam auszuwerten.

Für die oben beschriebenen Gefahren/Effekte erfolgt eine quantitative Gesamtanalyse für alle landwirtschaftlichen Subsektoren, mit Ausnahme des Subsektors Alpwirtschaft (weniger stark von Hitzewellen betroffen), der qualitativ ausgewertet wird. Es wird somit davon ausgegangen, dass jeder Subsektor gleich empfindlich auf diese extremen klimatischen Bedingungen reagiert.

Hitzewellen und Trockenheit sind durch erhöhte Evapotranspiration und einen reduzierten Wassergehalt des Bodens charakterisiert und ziehen einen erhöhten Bedarf an Bewässerung des Kulturlandes nach sich. Die verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen reagieren unterschiedlich. Das Wachstum der Kartoffeln z.B. hört bei Temperaturen über 25°C auf, während jenes der Zuckerrübe erst ab 30°C stoppt. Gemüse gehören zu den empfindlichsten Kulturen, gefolgt von anderen Ackerfrüchten und Wiesen (Fuhrer & Jasper, 2009). Hitzewellen und Trockenheit sind besonders für Böden mit geringem Wasserspeichervermögen kritisch, da der Wassergehalt bereits nach wenigen Hitzewellentagen drastisch abnimmt. Der Gemüsebau (nicht bewässert) reagiert wie erwähnt besonders empfindlich auf Wassermangel. Dennoch lag die Produktion dieses Subsektors im Sommer 2003 nur 16 % tiefer als das Mittel des Zeitraums 2001 - 2010. Dauerkulturen stellen hingegen den am wenigsten empfindlichen Subsektor dar, da sie mit ihren langen Wurzeln auch das Wasser der tiefsten Bodenschichten erreichen. Der Futtermittelanbau auf natürlichen Wiesen und Weiden eignet sich bereits heute für das milde Tessiner Klima eher nicht. In Zukunft könnte sich dies noch verstärken und während Hitzewellen und Trockenperioden könnten weitere Probleme auftreten. Das Absterben der Vegetation von Wiesen und Weiden infolge von Trockenstress könnte das Wachstum von an Trockenheit angepassten Arten fördern, was eine Abnahme der Futterqualität bewirken kann.

Im Jahr 2003 (Extremereignis sowohl in Bezug auf Hitzewellen als auch auf Allgemeine Trockenheit) wurde in der Schweiz ein Rückgang der Erträge der landwirtschaftlichen Produktion (Nettowertschöpfung) um 20 % registriert (Keller & Fuhrer, 2004), In besonders betroffenen Gebieten lag der Rückgang gar bei 50 % (Fuhrer & Jasper, 2009).

Die Ertragseinbussen sind primär auf das zu geringe Wasserangebot zurückzuführen. Im Tessin beläuft sich die landwirtschaftliche Nutzfläche von Acker- und Gemüsebau (empfindlichste Kulturen gegenüber Trockenperioden) auf ca. 1'700 ha (Jahr 2010). 68 ha des Gemüsebaus liegen jedoch innerhalb von Gewächshäusern und werden künstlich bewässert (nicht empfindlich gegenüber Trockenperioden) (SZG/CCM/CSO, 2015). Dennoch können Hitzewellen aufgrund der höheren Temperaturen auch Gemüsekulturen in Gewächshäusern beeinträchtigen. Die Hitzeproblematik kann nur teilweise (mit zusätzlichen Kosten) eingeschränkt werden, wie z.B. über Schattenspender oder vorübergehende Färbung der Scheiben. Hitzewellen haben ausserdem einen negativen Einfluss auf die Aktivität von Hummeln, wodurch die Befruchtung von Pflanzen beeinträchtigt wird.

Theoretisch müsste für eine optimale Bewässerung der Felder, auch während Trockenperioden und Hitzewellen, ca. 41 % der Ackerbaufläche und 26 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) des Tessins künstlich bewässert werden (Fuhrer & Jasper, 2009). Da die Kosten für eine korrekte Bewässerung sehr hoch und nur für Kulturen mit einer hohen

Wertschöpfung (z.B. Reis und Mais) gerechtfertigt sind (Masseria Ramello, U. e A. Feitknecht), werden die Felder während Hitzewellen und Trockenperioden nicht ausreichend bewässert. Es ist zudem zu erwähnen, dass das zur Bewässerung verwendete Wasser primär aus zwei Quellen stammt: Aus dem Grundwasser und dem Fluss Tessin (Wasser wird zu den Feldern in Nebenkanälen weitergeleitet). Aufgrund des Abkommens zur Regulierung des Lago Maggiore zwischen der Schweiz und Italien wird die Ausbeutung dieser Wasserressourcen während kritischen Perioden limitiert. Dies deshalb, weil das im Lago Maggiore zusammenströmende Wasser auch in der Lombardei zur Bewässerung von Landwirtschaftsflächen verwendet wird (Losa, 1999).

Im Tessin lag die Anzahl Hitzewellentage im Sommer 2003 über dem schweizweiten Mittel. Da aber die Landwirtschaftsflächen und Kulturen im Tessin teilweise bereits an ein heisseres und trockeneres Klima angepasst sind, wird davon ausgegangen, dass die Ertragseinbussen jenen der übrigen Schweiz entsprechen (-20 %). Die Abnahme der Erträge im Jahr 2003 wird einem hundertjährlichen Ereignis zugeordnet.

Im Jahr 2003 wurden 66 Hitzewellentage gezählt. Dies sind 44 Tage mehr als die 22 unter dem Referenzszenario berechneten (vgl. Kapitel 4.5.12). Wird die Abnahme der Erträge mit der Anzahl zusätzlicher Hitzewellentage verknüpft (in Bezug zum Referenzszenario), ergibt dies eine Abnahme der Erträge pro zusätzlichen Hitzewellentag von 0.45 % der Nettowertschöpfung.

Entsprechend der Zunahme der Anzahl Hitzewellentage (vgl. Kapitel 4.5.12), ist mit einer Abnahme der Erträge für die analysierten Subsektoren (Nettowertschöpfung) um 10 % unter dem Szenario schwach und 21 % unter dem Szenario stark zu rechnen.

In der Totalbilanz (vgl. Kapitel 5.3.3) ist ersichtlich, dass die heutige Änderung der Erträge infolge der Zunahme von Hitzewellen 0 Mio. Fr. pro Jahr entspricht. Unter den zukünftigen Szenarien wird die Änderung entsprechend der prozentualen Änderung von 10 % resp. 21 % der Nettowertschöpfung der analysierten Subsektoren (10.5 Mio. Fr.) betragen.

Bei den Projektionen in die Zukunft ist die Unsicherheit auf die jährlichen Schwankungen der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft, die Schwierigkeit Veränderungen in der landwirtschaftlichen Produktion als Reaktion auf die Änderung von Hitzewellen und allgemeiner Trockenheit abzuschätzen (die Abnahme der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft infolge des Sommers 2003 bezog sich auf die ganze Schweiz und nicht spezifisch auf das Tessin) und die Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung dieser/dieses Gefahr/Effekts zurückzuführen. Sie wird im Grossen und Ganzen als **mittel** eingestuft.

Qualitative Auswirkungen

Auswirkung auf die Alpwirtschaft.

Die Alpwirtschaft reagiert weniger empfindlich auf Hitzewellen als andere landwirtschaftliche Subsektoren. Dennoch zeigte sich infolge des Sommers 2015 (durch besonders hohe Temperaturen und zahlreiche Hitzewellentage charakterisiert), dass anhaltende Trockenheit auch wichtige Auswirkungen auf die Alpwirtschaft haben kann. Die Produktion von Kuhmilch beispielsweise nimmt stark ab, wenn die Tageshöchsttemperatur 25°C übersteigt. Im Sommer 2015 kam es zudem zu Wassermangel für das Tränken des Viehs. So mussten z.T. zusätzliche Wasserleitungen gelegt werden. Es ist gleichwohl wichtig zu erwähnen, dass der

Wasserbedarf für das Tränken des Viehs deutlich kleiner ist als jener zum Futtermittelanbau (eine Kuh z.B. trinkt pro Tag rund 150 l Wasser. Dies sind nur 10 % des Wassers, welches für den Futtermittelanbau für dieselbe Kuh gebraucht wird).

Gemäss einer Studie von Agroscope werden in der Schweiz die Alpen weniger von Problemen in Zusammenhang mit Trockenheit betroffen sein als die nicht alpinen Gebiete (Blanke & Herzog, 2012). Es wird davon ausgegangen, dass in höheren Lagen die Niederschläge im Sommer weniger stark abnehmen als in tiefen Lagen. In Kapitel 4.3.2 wird erläutert, dass in San Bernardino (repräsentativer Standort für die Berggebiete des Tessins) bereits heute mehr Niederschläge fallen und in Zukunft die Abnahme schwächer ausfällt als in tiefen Lagen. Dies wird vor allem auf die hohen Lagen des Sopraceneri zutreffen, während jene des Sottoceneri empfindlicher auf Trockenheit reagieren, da dort einerseits der geologische Untergrund aus Kalkgestein besteht (geringeres Wasserspeichervermögen) und andererseits das Terrain generell auf tieferer Meereshöhe liegt.

Der Futtermittelanbau ist eng mit der Dauer von Hitzewellen gekoppelt. Im Jahr 2015 traten Hitzewellen während den Monaten Juli und August auf. Nach dem Alpabzug war das Futter teilweise knapp, so dass Reserven für den Winter gebraucht werden mussten (dadurch entstehen Kosten für den Kauf von zusätzlichem Futtermittel für den Winter).

Da die Alpwirtschaft sehr wahrscheinlich weniger von Trockenheit und Hitzewellen beeinträchtigt sein wird als die Landwirtschaft in den Tallagen (z.B. Magadino), bewertet die Arbeitsgruppe dieses Risiko bei beiden zukünftigen Szenarien als **geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken.

Frost

Qualitative Auswirkungen

Schäden an Kulturland

Im Tessin kommen bereits heute äusserst wenige Frosttage (Tage mit Minimaltemperatur < 0°C) vor. In Lugano sind es unter dem Referenzszenario 22 Tage/Jahr (vgl. 4.4.2).

Frosttage beeinflussen die landwirtschaftliche Produktion des Tessins. In der Datenbank des Schweizerischen Fonds für Hilfe bei nicht versicherbaren Elementarschäden (Elementarschädenfonds, 2015) finden sich im Zeitraum 2000 – heute keine Schäden, die auf diese Gefahr zurückzuführen sind. Die unter beiden zukünftigen Szenarien prognostizierte Abnahme der Frosttage führt somit auch nicht zu Vorteilen für die Tessiner Landwirtschaft.

Aufgrund der erwähnten Punkte bewertet die Arbeitsgruppe bei beiden zukünftigen Szenarien diese Chance als **nicht relevant** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken.

Veränderung Mitteltemperatur

Quantitative Auswirkungen

Änderung der Erträge

Die Veränderung der Mitteltemperatur (allenfalls damit verbundener Trockenstress wird unter den Gefahren Hitzewellen und Allgemeine Trockenheit ausgewertet) ist insgesamt als

positiv für die Landwirtschaft zu bewerten. Diese/dieser Gefahr/Effekt kann auf zwei Arten in Erscheinung treten: Direkte Auswirkung auf das Pflanzenwachstum (inkl. Pflanzen, die potentiell schädlich für die Landwirtschaft sind) und die Auswirkung auf die Dauer der Vegetationsperiode.

Die Änderung der Erträge infolge der Veränderung der Mitteltemperatur wird basierend auf dem Nettoertrag jedes landwirtschaftlichen Subsektors ermittelt (vgl. Tabelle 46). Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Direktzahlungen für die Landwirtschaft konstant bleiben.

Die Zunahme der Dauer der Vegetationsperiode (vgl. Kapitel 4.4.4) könnte zu einem Mehrwert im Ackerbau führen. Diese Chance könnte z.B. zum Anbau von Frühkartoffeln (im Tessin heute selten) genutzt werden. Durch die Zunahme der Mitteltemperatur im Winter (und insbes. mit der Abnahme des Frostrisikos) wird es möglich sein, die Knollen bereits Ende Februar zu setzen und damit die Lieferdauer zu verlängern (im Tessin werden Kartoffeln für die industrielle Weiterverarbeitung der Firma Zweifel hergestellt). Durch eine Zunahme der Mitteltemperatur wird auch die Mais- und Reisproduktion positiv beeinflusst (Produktion von grösseren Mengen ist wahrscheinlich) (Masseria Ramello, U. e A. Feitknecht). Es ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass ein Ansteigen der Mitteltemperatur (vor allem die milderen winterlichen Temperaturen) auch die Verbreitung von Schadorganismen fördert (z.B. *Reynoutria japonica*), welche einen schwachen Anstieg der ertragserhaltenden Kosten bewirken. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass die Veränderung der Mitteltemperatur zu einem Anstieg der Erträge im Ackerbau führt. Dieser beträgt unter dem Szenario schwach ca. 5 % und unter dem Szenario stark 10 %.

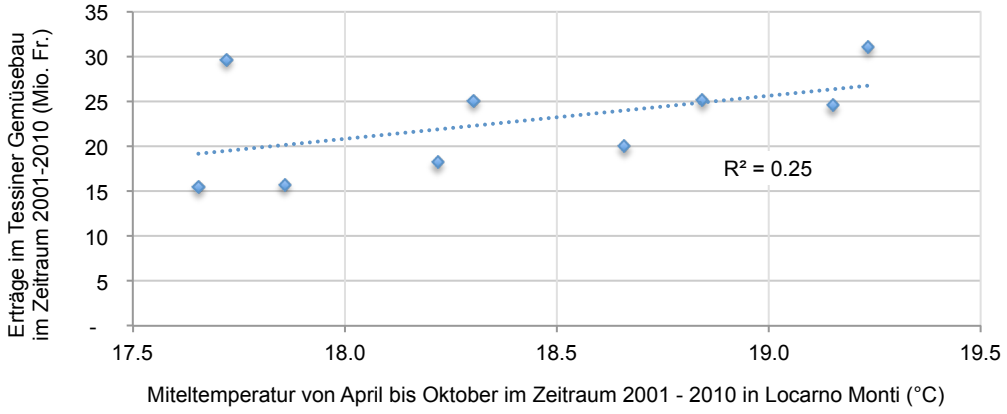


Abbildung 102: Korrelation zwischen den Erträgen im Tessiner Gemüsebau (Ufficio della consulenza agricola, 2012) und der Mitteltemperatur von April bis Oktober im Zeitraum 2001 - 2010 in Locarno Monti (OASI, 2015b). Das Jahr 2003 wurde ausgeschlossen.

Die Zunahme der Vegetationsperiode wird auch für die Erträge des Gemüseanbaus einen positiven Einfluss haben. Die Analyse der Erträge des Tessiner Gemüseanbaus zwischen 2001 und 2010 (Gemüseverkauf) zeigt, dass tendenziell eine lineare Korrelation zur Mitteltemperatur der Monate April bis Oktober (Mittlere Dauer der Vegetationsperiode des Gemüseanbaus) in Locarno Monti (vgl. Abbildung 102) besteht. Um den Vergleich der Erträge des Gemüseanbaus zwischen den Jahren zu ermöglichen, wurden die entsprechenden Daten auf der Basis der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) des Jahres 2010 normalisiert (UStat, 2012). Das Jahr 2003, in dem die sommerliche Mitteltemperatur bei 20.4°C lag und Gemüse

im Wert von ca. 17 Mio. Fr. produziert wurde (Wert normalisiert auf das Jahr 2010), wurde von dieser statistischen Auswertung ausgeschlossen. Dies deshalb, da Hitzewellen und lange Trockenperioden teilweise die landwirtschaftliche Produktion beeinträchtigt haben (das Jahr wird für die Gefahr Hitzewelle und Allgemeine Trockenheit analysiert). Wie beim Ackerbau ist es möglich, dass sich durch eine Veränderung der Mitteltemperatur und besonders durch die weniger kalten Temperaturen im Winter, Krankheiten und Parasiten besser entwickeln können. Basierend auf den zuvor erläuterten Zusammenhängen wird unter dem Szenario schwach eine Zunahme der Erträge um 12 % und unter dem Szenario stark um 15 % angenommen.

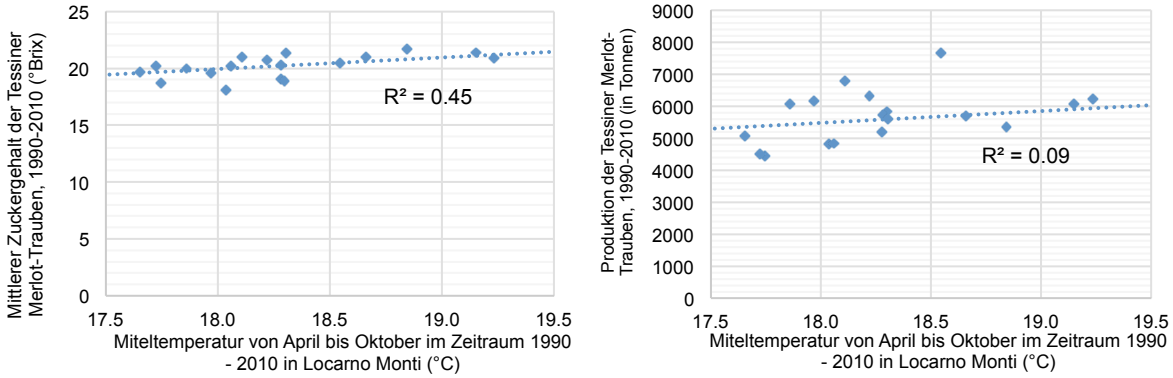


Abbildung 103: Korrelation zwischen dem mittleren Zuckergehalt der Merlot-Traube resp. der Merlot-Traubenproduktion im Tessin (Sezione dell'agricoltura, 2015) und der Mitteltemperatur von April bis Oktober im Zeitraum 1990 - 2010 in Locarno Monti (OASI, 2015b).

Auch für die Dauerkulturen (wie z.B. Weinbau) werden die Zunahme der Mitteltemperatur und die entsprechende Verlängerung der Vegetationsperiode positiv auf die Erträge wirken. Die Daten der Weinlese des Jahres 1990 (Sezione dell'agricoltura, 2015) und die Mitteltemperaturen zwischen April und Oktober in Locarno Monti (OASI, 2015b) zeigen, dass eine positive Korrelation zwischen dem Zuckergehalt der Merlot-Trauben und der Mitteltemperatur besteht (vgl. Abbildung 103). Um auch den Vergleich zwischen den produzierten Mengen und der Mitteltemperatur zu ermöglichen, wurden die entsprechenden Daten auf der Basis der Rebfläche der Merlot-Traube im Jahr 2010 normalisiert (Sezione dell'agricoltura, 2015). Die Korrelation zwischen der Temperatur und dem Zuckergehalt ist stärker als jene zwischen der Temperatur und der produzierten Traubenmenge. Letztere ist nur sehr schwach. Es kann somit angenommen werden, dass die Zunahme der Mitteltemperatur zu einer signifikanten Zunahme der Qualität und zu einer weniger bedeutenden Zunahme der Quantität der Weinlese führt. Die prognostizierte zukünftige Zunahme des Huglin-Index infolge der Veränderung der Mitteltemperatur (vgl. Kapitel 4.4.4) weist ein hohes Potential für den Tessiner Weinbau auf. Die Zunahme dieses Index widerspiegelt einen potentiellen Anstieg des Zuckergehalts, was die Kultivierung anderer Weintraubensorten im Tessin ermöglicht, welche hohe Temperaturen zur Reifung benötigen (z.B. Syrah und Tempranillo). Der unter dem Szenario schwach erwartete Huglin-Index in Biasca und Lugano wäre z.B. sehr nahe am optimalen Wert für die Sorte Syrah (vgl. Kapitel 4.4.4). Diese Traubensorte findet sich bereits heute in gewissen Gebieten des Tessins. Die Tendenz einer Abnahme der traditionellen Rebsorten zugunsten von „anspruchsvolleren" ist in anderen Weinbaugebieten in Europa bereits im Gange, wo im Zeitraum 1990 bis 2010 eine Abnahme der Merlot-Rebsorten von

90 % auf 83 % beobachtet wurde (Sezione dell'agricoltura, 2015). Gleichzeitig zu diesen positiven Auswirkungen ist ein erhöhtes Vorkommen pathogener Organismen wahrscheinlich (z.B. *Drosophila suzuki* oder Phytoplasmen an Reben, übertragen vom Vektor *Scaphoideus titanus),* was einen Anstieg der Kosten zur Behandlung von Dauerkulturen bewirken könnte (Sezione dell'agricoltura Ticino, M. Bernasconi). Zusammenfassend geht die Arbeitsgruppe bei Dauerkulturen und insbes. Weinbau von einem Anstieg der Erträge um 10 % unter dem Szenario schwach und 12 % unter dem Szenario stark aus.

Auch für den Subsektor Wiesen/Weiden und Nutztiere wird die Veränderung der Mitteltemperatur zu einer Steigerung der Erträge führen, primär aufgrund der längeren Vegetationsperiode (vgl. Kapitel 4.4.4). Die Zunahme der Produktivität von Wiesen und Weiden wird vermutlich geringer sein als jene von Acker-, Gemüsebau und Dauerkulturen (diese sind weniger empfindlich gegenüber Temperaturänderungen). Auch in diesem Fall könnte die Zunahme der Mitteltemperatur zu einer zunehmenden Verbreitung von pathogenen und invasiven Organismen führen, welche einen Anstieg der Kosten für Pflanzenschutzmassnahmen oder die Beseitigung invasiver Neophyten bewirken. Insgesamt wird geschätzt, dass die Erträge von Wiesen/Weiden und Nutztieren um 7 % unter dem Szenario schwach und um 10 % unter dem Szenario stark ansteigen.

Die Produktion des Subsektors Alpwirtschaft und Nutztiere wird durch die Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt. Diese bewirkt ein rascheres und besseres Wachstum der Futtermittel. Dieses Wachstum (gemeinsam mit einer Zunahme der Gräservielfalt) begünstigt den Milchertrag und die Qualität des in Alpwirtschaften produzierten Käses. Die milderen Temperaturen im Winter werden aber auch in diesem Subsektor die Verbreitung invasiver pathogener Organismen, welche Kosten verursache, fördern. Als Beispiel gilt die *Ambrosia artemisiifolia,* welche aufgrund ihrer gesundheitsgefährdenden Eigenschaften entfernt werden muss (BAFU, 2014b). Die Bekämpfung von invasiven Neophyten ist speziell in hohen Lagen aufwändig, dies weil dort die Zugänglichkeit erschwert ist. Es ist zudem zu beachten, dass die Verschiebung der Waldgrenze in höhere Lagen die dortigen Alpweiden gefährdt (Ersetzen von Weidefläche durch den Wald) und/oder dadurch die Kosten für die Freihaltung der betroffenen Gebiete ansteigen. Alles in allem ist beim Subsektor Alpwirtschaft und Nutztiere mit einer Zunahme der Erträge um 12 % unter dem Szenario schwach und um 20 % unter dem Szenario stark zu rechnen (diese Zunahme ist in erster Linie auf den Anstieg des Milchertrags zur Käseherstellung zurückzuführen).

In Tabelle 50 sind die Änderungen der Erträge in den verschiedenen landwirtschaftlichen Subsektoren infolge der Veränderung der Mitteltemperatur aufgezeigt. Da die Mitteltemperatur einen besonders grossen Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion hat, werden ihr alle Erträge der Landwirtschaft unter dem Referenzszenario zugeordnet (vgl. Kapitel 5.3.3). Unter den zukünftigen Szenarien werden die Gesamterträge (Nettowertschöpfung) der Tessiner Landwirtschaft infolge der erwarteten Zunahme der Mitteltemperatur berechnet.

Unter dem Referenzszenario ist die Unsicherheit primär auf die jährlichen Schwankungen der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung zurückzuführen und wird als **sehr gering** eingestuft. Für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen besteht zudem die Schwierigkeit der eindeutigen Zuordnung der Veränderung der Mitteltemperatur auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion und auf die Verbreitung von pathogenen Organismen. Sie wird insgesamt als **mittel** eingestuft.

	Nettowertschöpfung 2010	Änderung der Erträge (%)	
		Szenario schwach	Szenario stark
Ackerbau	0.3	5 %	10 %
Gemüsebau	3.3	12 %	15 %
Dauerkulturen	3.3	10 %	12 %
Wiesen/Weiden und Nutztiere	3.6	7 %	10 %
Alpwirtschaft und Nutztiere	0.8	12 %	20 %
Total	**11.3**	**10 %**	**13 %**

Tabelle 50: ***Änderung der Erträge bei den unterschiedlichen Subsektoren infolge der Veränderung der Mitteltemperatur unter den Szenarien schwach und stark.***

Sturm/Orkan

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Kulturland

Die Gefahr Sturm/Orkan (sehr starke Winde) kann beträchtliche Schäden an Kulturland im Freien und an /in Gewächshäusern verursachen.

Die einzige Datenbank mit spezifischen Daten über diese Gefahr ist der Elementarschädenfonds (vgl. Tabelle 47).

Unter Anwendung der in Kapitel 3.5 erläuterten Methode ist von einem Erwartungswert der Schäden an Kulturland infolge dieser Gefahr von ca. 9‘200 Fr./Jahr zu rechnen. Diese Kosten entsprechen ca. 0.1 % der Nettowertschöpfung der Tessiner Landwirtschaft des Jahres 2010.

Die Analyse der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) hat ergeben, dass bei einem Extremereignis mit Schäden in der Höhe von ca. 90‘000 Fr. pro Jahr zu rechnen ist.

Eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Änderungen der Häufigkeit und Intensität der Gefahr Sturm/Orkan ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Unter den zukünftigen Szenarien wird deshalb davon ausgegangen, dass sich die Gefahr gleich verhält wie heute. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.3.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die möglicherweise unvollständige Daten (es wurde bloss eine Datenbank berücksichtigt) und die Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet.

5.3.3. Quantitative Analyse

Die Details der Berechnungen des Erwartungswertes und der Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft sind in Anhang A4 ersichtlich, während die Details der Gumbel-Analyse für die Extremereignisse in Anhang A8 aufgeführt sind.

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 104 sind die Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die dazugehörenden Werte finden sich in Tabelle 51.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Hochwasser									
Schäden an Kulturland	-1.7	-2.2	-2.8	-1.1	-2.2	-4.4	-1.5	-3.1	-6.1
Mure/Erdrutsch/Hangmure									
Schäden an Kulturland	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.4	-0.7	-0.3	-0.5	-1.0
Gewitter/Hagel									
Schäden und Ertragseinbussen beim Kulturland	-0.5	-0.6	-0.8	-	-	-	-	-	-
Änderung im Niederschlagsregime									
Erträge und Qualität der Produkte	0	0	0	0.08	0.16	0.33	0.08	0.16	0.33
Allgemeine Trockenheit und Hitzewelle									
Erträge und Qualität der Produkte	0	0	0	0	-1.0	-2.0	-1.1	-2.2	-4.4
Veränderung Mitteltemperatur									
Erträge und Qualität der Produkte	10.5	11.3	12.4	6.2	12.4	24.7	6.4	12.7	25.4
Sturm/Orkan									
Schäden am Kulturland	-0.007	-0.009	-0.012	-	-	-	-	-	-
Bilanz	**6**	**8**	**10**	**-2**	**8**	**23**	**-6**	**6**	**22**

Tabelle 51: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft. Es sind sowohl die heutigen Kosten/Erträge (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Gefahren/Effekte stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken und die blau markierten wurden mittels Sensitivitätsanalyse ausgewertet.***

Die Gefahr, die momentan am meisten Schäden am Kulturland verursacht ist das Hochwasser. Die unter dem Szenario stark prognostizierte Zunahme der Gefahr stellt ein bedeutendes Risiko für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft dar. Die Schäden an Kulturland infolge der Gefahren Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan spielen hingegen eine untergeordnete Rolle.

Eine wichtige Chance für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft ist die Zunahme der landwirtschaftlichen Erträge dank der Veränderung der Mitteltemperatur und zu einem kleinen Teil aufgrund des Anstiegs der Niederschläge im Winter und Frühjahr. Es ist aber zu erwähnen, dass die häufiger vorkommenden Trockenperioden und Hitzewellen zu einer Abnahme der Quantität und Qualität der landwirtschaftlichen Produkte führen werden.

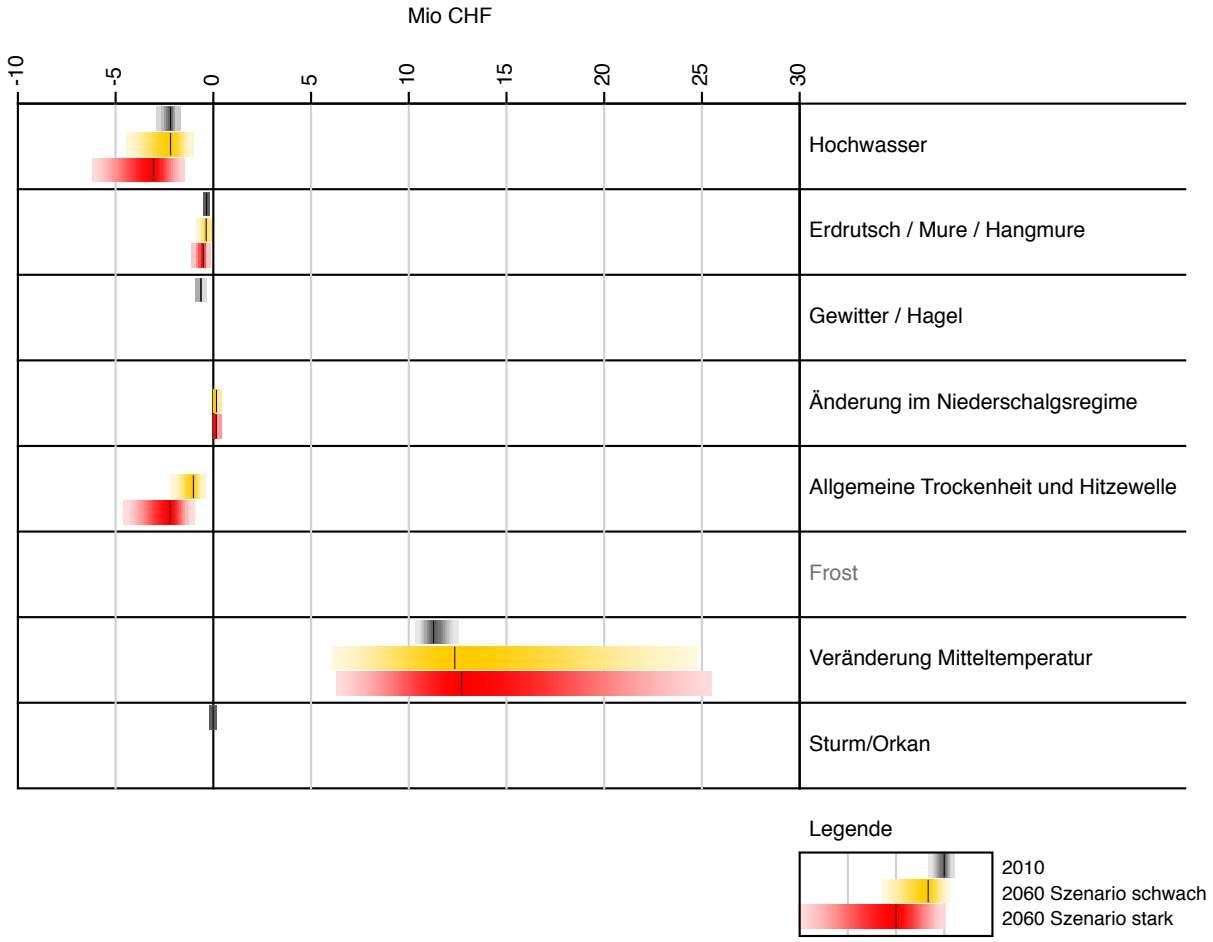


Abbildung 104: ***Kosten (negativ) und Erträge (positiv) jeder Gefahr oder jedes Effekts für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).***

Extremereignisse

In Abbildung 105 finden sich die Kosten, welche durch ein Extremereignis (jeder Gefahr/ jedes Effekts) beim Auswirkungsbereich Landwirtschaft entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

Hochwasser ist die Gefahr, die am meisten Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft ausübt. Es ist in der Tat feststellbar, dass ein extremes Hochwasserereignis bereits heute deutlich höhere Kosten verursacht, als die Extremereignisse der anderen Gefahren. Unter dem Szenario stark, bei welchem eine Zunahme der Hochwasserereignisse prognostiziert wird, wird bezüglich einem Extremereignis mit Kosten von ca. 28 Mio. Fr./Jahr gerechnet.

Die Extremereignisse der übrigen Gefahren/Effekte verursachen Kosten oder Ertragseinbussen von weniger als 5 Mio. Fr./Jahr.

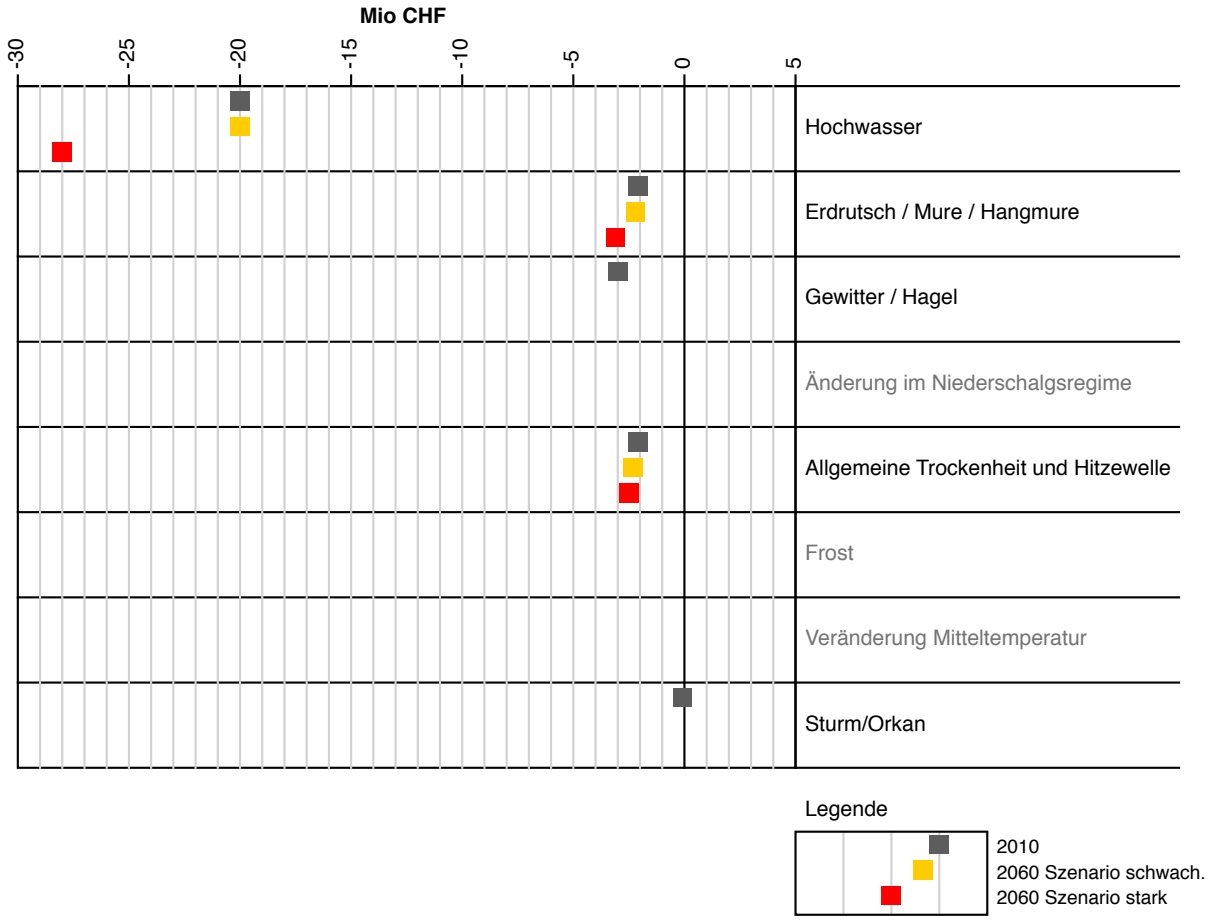


Abbildung 105: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für jede Gefahr oder jeden Effekt im Auswirkungsbereich Landwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft

In Abbildung 106 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft dargestellt.

In der Grafik der Risiken wurden die Kosten derjenigen Naturgefahren berücksichtigt, die in Zukunft zunehmen werden (Hochwasser und Mure/Erdrutsch/Hangmure). Gleichzeitig wurde auf die Abnahme der Erträge infolge der Zunahme von Hitzewellen und Trockenperioden eingegangen. Im Mittel ist mit einem Anstieg der Kosten in der Höhe von 1 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario schwach und 3 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario stark zu rechnen.

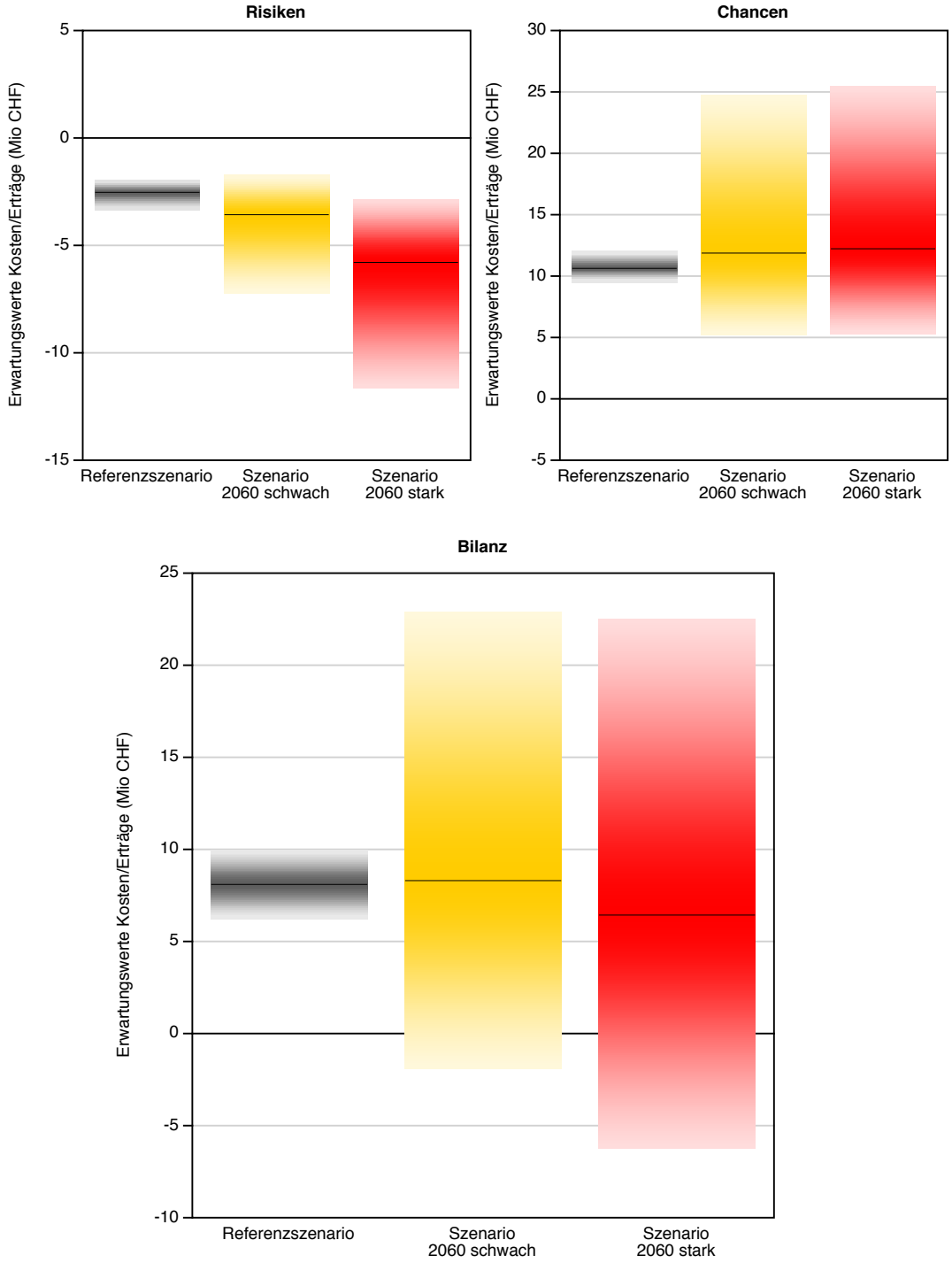


Abbildung 106: ***Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Kosten entsprechen den negativen Werten, die Erträge den positiven. Risiken repräsentieren die Abnahme, Chancen die Zunahme der Summe der Erträge plus Kosten. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Landwirtschaft. Die Abbildung zeigt den Erwartungswert und die entsprechenden Unsicherheiten.***

Die Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft sind primär auf die Zunahme der Erträge infolge der Veränderung der Mitteltemperatur und die Änderung des Niederschlagsregimes zurückzuführen. Unter dem Szenario schwach werden sie um 1.2 Mio. Fr./Jahr und unter dem Szenario stark um 1.6 Mio. Fr./Jahr zunehmen.

In der Totalbilanz (vgl. Abbildung 106) ist ersichtlich, dass der Klimawandel insgesamt einen leicht positiven Effekt unter dem Szenario schwach hat und einen leicht negativen unter dem Szenario stark. Dabei ist die grosse Unsicherheit bezüglich dieser Änderungen zu berücksichtigen.

5.3.4. Sensitivitätsanalyse

Eine zuverlässige Prognose der Gefahren/Effekte Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan unter den Szenarien schwach und stark ist nicht möglich. In den nachfolgenden Tabellen findet sich die Differenz zwischen der Totalbilanz der Szenarien schwach und stark und dem Referenzszenario in Relation zu möglichen Änderungen der Häufigkeit der Gefahren/Effekte Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan. Die Auswertung entspricht einer Sensitivitätsanalyse. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich die Bilanz für das Referenzszenario (Erträge abzüglich Kosten) im Auswirkungsbereich Landwirtschaft auf Kosten in der Höhe von rund 8 Mio. Fr. beläuft.

Szenario SCHWACH		**Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel**		
		0.67	1	1.5
Änderung der Häufigkeit von Sturm/Orkan	0.67	0.42	0.21	-0.11
	1	0.42	0.21	-0.11
	1.5	0.41	0.20	-0.11

Tabelle 52: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Landwirtschaft zwischen dem Szenario schwach und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Szenario STARK		**Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel**		
		0.67	1	1.5
Änderung der Häufigkeit von Sturm/Orkan	0.67	-1.45	-1.66	-1.98
	1	-1.46	-1.66	-1.98
	1.5	-1.45	-1.67	-1.99

Tabelle 53: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Landwirtschaft zwischen dem Szenario stark und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Generell kann festgestellt werden, dass Gewitter/Hagel eine grössere Auswirkung auf die Kosten ausüben als Sturm/Orkan, welche einen sehr kleinen Einfluss haben.

Eine Zunahme von beiden Gefahren könnte für die Landwirtschaft zu einem bedeutenden Anstieg der Kosten führen. Unter dem Szenario schwach würde eine Zunahme der Gefahren Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan zu einer negativen Bilanz führen (in diesem Fall würden die Risiken gegenüber den Chancen überwiegen). Unter dem Szenario stark würde ein Anstieg beider Gefahren zu einer Zunahme der Kosten um 19 % im Vergleich zur unveränderten Situation führen.

Die Abnahme der erwähnten Gefahren könnte einen Rückgang von bis zu 13 % der Kosten in diesem Auswirkungsbereich bewirken (Szenario stark).

5.3.5. Qualitative Analyse

In Abbildung 107 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

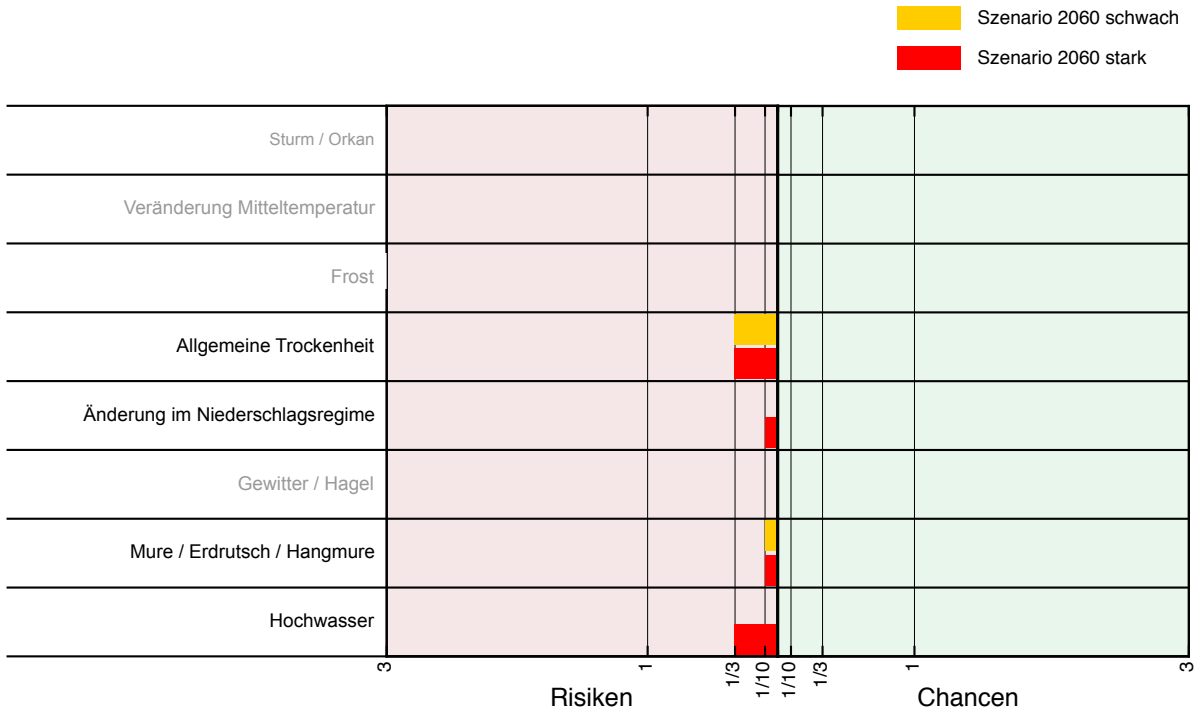


Abbildung 107: ***Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz der qualitativ ausgewerteten Auswirkungen zeigt, dass die Risiken (primär auf die Ertragseinbussen infolge von Naturgefahren, die verzögerte Saat im Frühjahr und die negativen Folgen der Trockenperioden und Hitzewellen für die Alpwirtschaft zurückzuführen) einen „geringeren“ Einfluss als die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen haben.

In Tabelle 54 finden sich die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft monetarisiert wurden.

Auswirkungsbereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Landwirtschaft	-0.45	0	-2.83	0

Tabelle 54: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.***

5.3.6. Sozioökonomisches Szenario 2060

Landwirtschaftliche Nutzfläche

In Zukunft (2060) wird eine Reduktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Tessins um 6 % im Vergleich zu heute erwartet (vgl. Kapitel 4.6). Die Abnahme dieser Fläche wird auch eine Verminderung von Schäden infolge von Naturgefahren (Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan) und Ertragseinbussen mit sich führen.

Nettowertschöpfung der Landwirtschaft

Die Tessiner Landwirtschaft wird in Zukunft immer mehr an ökonomischer Bedeutung verlieren. Bis 2060 wird von einer Abnahme der Nettowertschöpfung um 25.5 % erwartet. Aufgrund dieser Abnahme werden die Erträge des Auswirkungsbereichs auch abnehmen.

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft wird als **mittel** eingestuft.

Sozioökonomisches Szenario Landwirtschaft

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Hochwasser							
Schäden an Kulturland	-1.7	-2.2	-2.8	0.94	-1.0	-2.1	-4.1
Mure/Erdrutsch/Hangmure							
Schäden an Kulturland	-0.3	-0.3	-0.4	0.94	-0.2	-0.3	-0.6
Gewitter/Hagel							
Schäden und Ertragseinbussen beim Kulturland	-0.5	-0.6	-0.8	0.94	-0.3	-0.6	-1.2
Änderung im Niederschlagsregime							
Erträge und Qualität der Produkte	0	0	0	0.75	0	0	0
Allgemeine Trockenheit und Hitzewelle							
Erträge und Qualität der Produkte	0	0	0	0.75	0	0	0
Veränderung Mitteltemperatur							
Erträge und Qualität der Produkte	10.5	11.3	12.4	0.75	4.2	8.4	16.8
Sturm/Orkan							
Schäden an Kulturland	-0.007	-0.009	-0.012	0.94	-0.004	-0.01	-0.02
Totale	**6.4**	**8.1**	**9.9**	**-**	**-1.8**	**5.4**	**15.3**

Tabelle 55: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

Das sozioökonomische Szenario des Auswirkungsbereichs Landwirtschaft zeigt, dass in Zukunft (ohne Berücksichtigung der Änderungen infolge des Klimawandels) die Erträge dieses Auswirkungsbereichs abnehmen (vgl. Tabelle 55 und Abbildung 108). Die Abnahme lässt sich mit dem Rückgang der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft erklären. Die Abnahme der Schäden durch Naturgefahren aufgrund der Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist hingegen von untergeordneter Bedeutung.

Ein Vergleich der erwarteten Änderungen des sozioökonomischen Szenarios mit jenen der Klimaszenarien deutet darauf hin, dass die zukünftige sozioökonomische Entwicklung bezüglich der Kosten und Erträge annäherungsweise gleichbedeutend ist wie die Auswirkungen des Klimawandels.

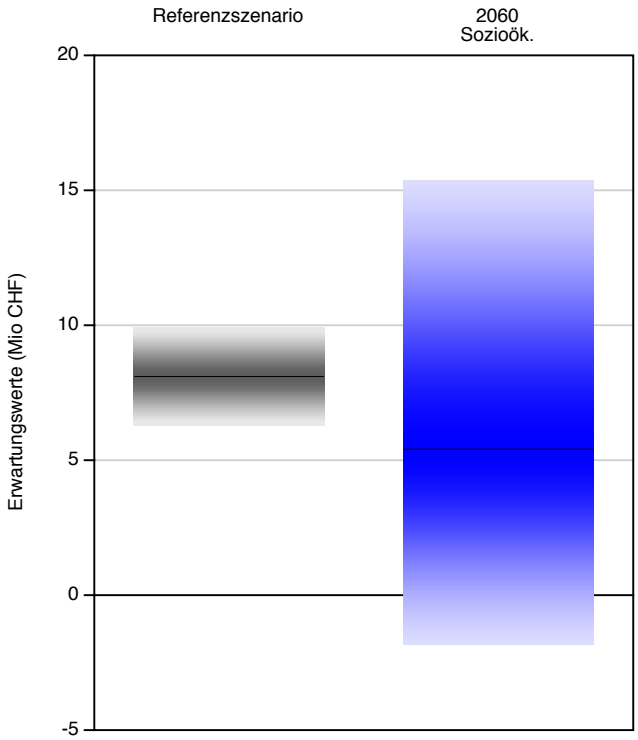


Abbildung 108: ***Grafische Darstellung der heutigen Kosten/Erträge und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Landwirtschaft. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.***

5.3.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Landwirtschaft

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft hat bedeutende Risiken gezeigt. Die Risiken des Klimawandels sind **leicht negativ** sowohl unter dem Szenario schwach als auch unter dem Szenario stark (Kosten von ca. 1 Mio. Fr./Jahr resp. 3 Mio. Fr./Jahr). Die Chancen erweisen sich als **leicht positiv**, und zwar unter beiden Klimaszenarien (Erträge von ca. 1.2 Mio. Fr./Jahr resp. 1.6 Mio. Fr./Jahr). Insgesamt ist die Auswirkung **gering** unter dem Szenario schwach (Erträge

von ca. 0.2 Mio. Fr./Jahr) und **leicht negativ** unter dem Szenario stark (Kosten von ca. 2 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen werden als **leicht negativ** gewertet (Kosten von ca. 2.7 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.4. WALD / WALDWIRTSCHAFT

5.4.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Beschrieb des Tessiner-Waldes

Die gesamte Waldfläche des Kantons Tessin beträgt 148'500 ha, was 52.6 % der Kantonsfläche entspricht. Aufgrund seiner grossen Fläche bestimmt der Wald massgeblich den Kanton, und zwar von den Talböden bis in höhere Lagen (vgl. Abbildung 109).

Das Klima und die geomorphologischen Gegebenheiten führen zudem zu einem äusserst vielfältigen Erscheinungsbild der Wälder. Auf den ganzen Kanton bezogen sind folgende Baumarten vertreten: Kastanie (20 %), Buche (20 %), Fichte (15 %), Lärche (13 %), Weisstanne (3 %) und Eiche (3 %). Die übrigen, hier nicht aufgezählten, Arten (26 %) umfassen weitere Laub- und Nadelbäume, welche die Tessiner-Wälder charakterisieren (Sezione forestale Cantonale, 2007).

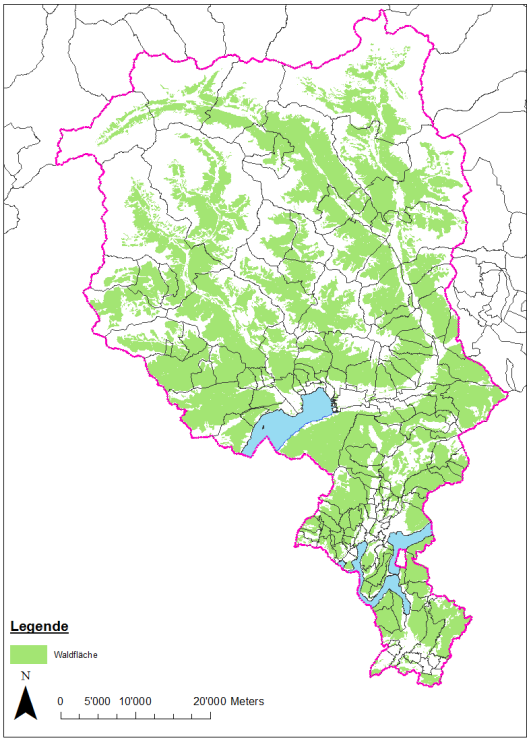


Abbildung 109: Waldfläche des Kantons Tessin.

Die Tessiner Wälder sind grösstenteils in öffentlichem Besitz (79 %; hauptsächlich Eigentum der Bürgergemeinden). Die Wälder in privatem Besitz (21 %) finden sich primär in der Nähe der städtischen Gebiete des zentralen bis südlichen Tessins.

Im Tessin spielt die Holzproduktion der Wälder eine untergeordnete Rolle. Nebst seiner Bedeutung als Naturraum, seiner landschaftlichen Bedeutung und seiner Erholungsfunktion, weisen die Wälder auch eine ausgesprochen wichtige Rolle in Zusammenhang mit dem Schutz vor Naturgefahren auf. Die Daten des Projektes *SilvaProtect* zeigen, dass ca. 20 % der Schutzwälder der Schweiz im Tessin liegen. Rund 39 % der gesamten Waldfläche des Kantons Tessin erfüllen eine direkte Schutzfunktion für Siedlungen, Infrastrukturen und Ver-

kehrswege. Aufgrund der geografischen Lage des Kantons (ein grosser Teil des Kantons liegt innerhalb des Alpenbogens) sowie den morphologischen Eigenschaften, treten im Tessin verschiedene Naturgefahren auf: Überschwemmungen und Hochwasser, Lawinen, Rutschungen sowie Sturzprozesse, beispielsweise Stein- und Blockschlag. Ausgedehnte Schutzwälder schwächen generell die Auswirkungen von Naturgefahren ab (Sezione forestale Cantonale, 2007).

Rolle der Tessiner Waldwirtschaft

Wie bereits erwähnt ist die Produktionsfunktion des Waldes im Tessin von untergeordneter Bedeutung. Gleichwohl sind in der Waldwirtschaft rund 1'600 Festangestellte und 200 Lehrlinge in insgesamt ca. 300 Firmen tätig.

Der wirtschaftliche Beitrag der Waldwirtschaft beträgt insgesamt ca. 15 Mio. Fr. pro Jahr (Sezione forestale Cantonale, 2007).

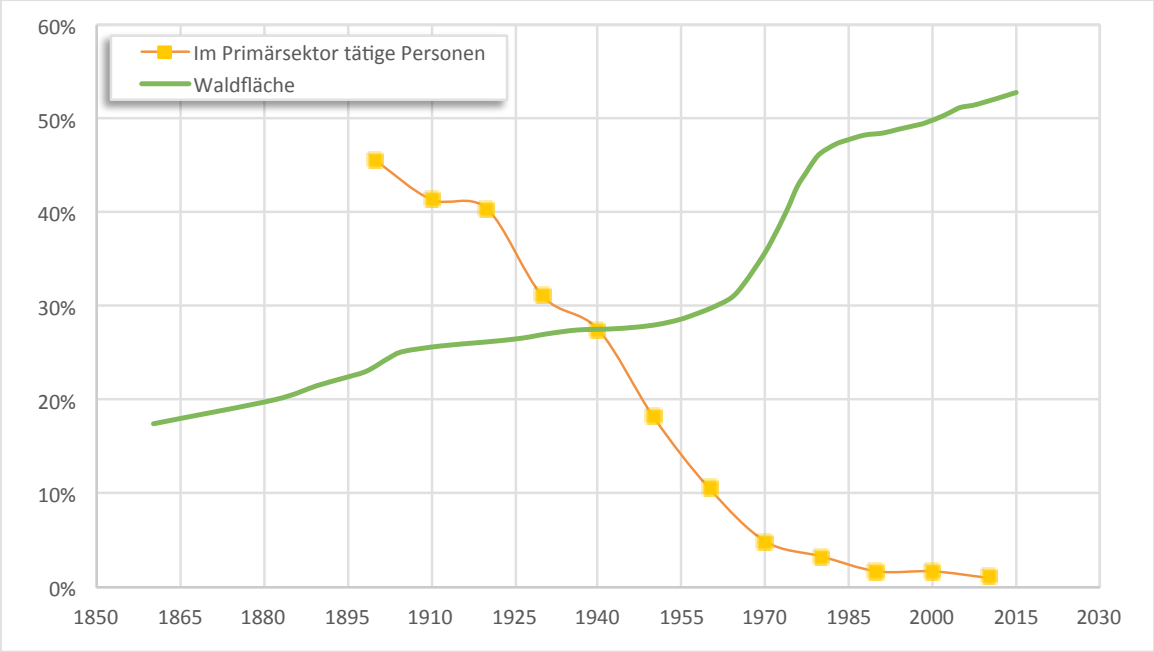


Abbildung 110: Entwicklung der kantonalen Waldfläche (WSL, 2015a) und der im Primärsektor tätigen Personen (Bettelini, 2014).

Der Tessiner Wald wächst pro Jahr um ca. 500'000 m^2 an (Sezione forestale Cantonale, 2007). Gleichwohl wird nur ein kleiner Teil davon (ca. 98'000 m^2 resp. ca. 20 %) wirtschaftlich genutzt. Vom genutzten Holzvolumen fallen rund 30 % auf Nutzholz und 70 % auf Brennholz (Energieholz) (Sezione forestale cantonale, 2014).

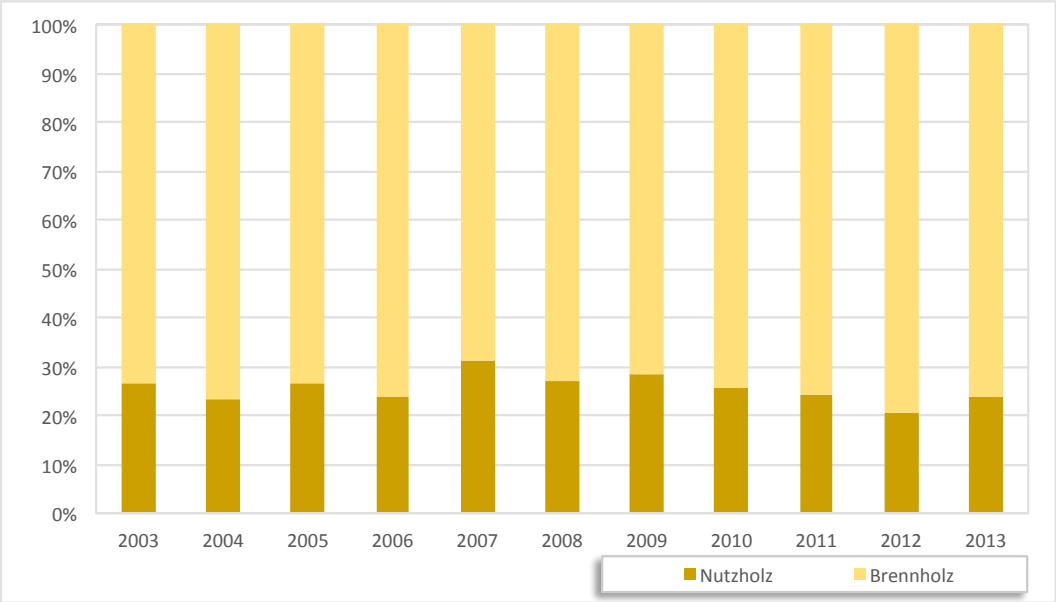


Abbildung 111: Verteilung der Holzproduktion nach Nutz- resp. Brennholz (Sezione forestale cantonale, 2014).

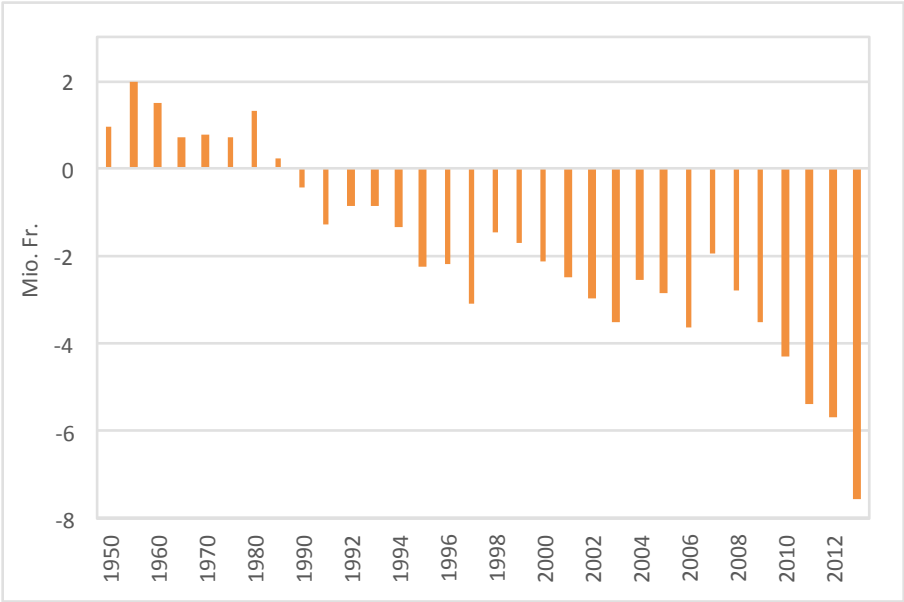


Abbildung 112: Entwicklung des Ertrags des Holzverkaufs (nach Abzug der Kosten) (Sezione forestale cantonale, 2014).

5.4.2. Gefahren und Effekte 2060

Gemäss der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) müssen für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft folgende Gefahren und Effekte ausgewertet werden: Schneelawinen, Starkschneefälle, Mure/Erdrutsch/Hangmure, allgemeine Trockenheit, Waldbrand, Hitzewelle, Steinschlag/Fels-/Bergsturz, Veränderung Mitteltemperatur und Sturm/Orkan. Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 56. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft ist in Abbildung 113 ersichtlich. In diesem Auswirkungsbereich werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Waldbestand analysiert, mit speziellem Fokus auf die Schutzwaldfunktion. Im Wesentlichen werden die Auswirkungen des Klimawandels in Zusammenhang mit direkten Schäden am Waldbestand, dem Waldwachstum, der oberen Waldgrenze, der Verbreitung von invasiven gebietsfremden Pflanzenarten (invasive Neophyten) und schädlicher Organismen untersucht. Abschliessend werden die möglichen Auswirkungen auf den Holzmarkt ergründet.

Auf die Artenvielfalt und die natürlichen Lebensräume des Waldes wird im Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft nicht eingegangen, sondern im Auswirkungsbereich Biodiversität. Auch die Waldinfrastruktur wird hier nicht thematisiert, da diese im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude zur Diskussion steht.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 56 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Die Handlungsfelder F1 (Kritische Schutzwälder), F4 (Übrige Waldstandorte) und N5 (Schutzwald) werden hier aufgeführt. Die Massnahmen zur Limitierung und zum Monitoring der Naturgefahren (n1-n7) und f1 (Vorzeitige Verjüngung kritischer Schutzwälder mit ungenügender Verjüngung und verminderter Bestandesstabilität) und f4 (Waldrelevante Grundlagen) werden als am wichtigsten erachtet.

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungsfelder	Massnahmen
Schneelawinen	Abnahme der Lawinenhäufigkeit mit Auswirkungen auf die Wälder (insbes. auf Schutzwälder).		F1	n1-n7; f1
Starkschneefälle	Abnahme der Schäden durch Schneebruch im Waldbestand infolge eines Extremereignisses.		F2	f4
		Abnahme der Schäden durch Schneebrüche in den Waldbeständen.	F2	f4
Mure/Erdrutsch/Hangmure	Zunahme der Häufigkeit und Intensität der Ereignisse mit Auswirkungen auf die Wälder (insbes. auf Schutzwälder).		F1	n1-n7; f1
Allgemeine Trockenheit		Zunahme der Sterberate der Pflanzen infolge von Trockenstress. Mögliche Schäden an Schutzwäldern.	N5; F1; F2; F3; F4	n1-n7; f1; f2; f3; f4
		Verbreitung von invasiven Neophyten, welche die Schutzfunktion von Wäldern beeinträchtigen (Konkurrenz mit autochthonen Arten).	N5; F1; B3	n1-n7; f1; f2; b7
Waldbrand	Zunahme der Kosten zur Waldbrandbekämpfung und Wiederherstellung der Schutzfunktionen der betroffenen Schutzwälder.		F1; F3; F4	f1; f2; f3; f4
		Verbreitung von invasiven Neophyten (Besiedlung der von Waldbrand betroffenen Flächen), welche die Schutzfunktion von Wäldern beeinträchtigen.	F1; B3	f1; f2; b7
Hitzewelle		Zunahme der Sterberate der Pflanzen und Auswirkungen auf die Schutzfunktion von Wäldern.	N5; F1; F4	n1-n7; f1; f3; f4
Steinschlag/Fels-	Abnahme der Auswir-		F1	n1-n7; f1

/Bergsturz	kungen auf Wälder (insbes. auf Schutzwälder).			
Veränderung Mitteltemperatur		Zunahme der Sterberate der Pflanzen infolge von Hitzestress. Mögliche Auswirkung auf die Schutzfunktion von Wäldern. Verbreitung von invasiven Neophyten, welche die Schutzfunktion von Wäldern beeinträchtigen (Konkurrenz mit autochthonen Arten).	N5; F1; F3; F4; B3	n1-n7; f1; f2; f3; f4
		Verschiebung der Waldgrenze nach oben und Änderung der Zusammensetzung (Arten) und der Struktur des Waldes in den verschiedenen Höhelagen.	F3; F4	f4
Sturm/Orkan	Veränderungen der Auswirkungen auf den Holzmarkt (unerwartet erhöhtes Angebot mit daraus sich ergebendem Holzpreissturz).			
		Änderung der Kosten zur Wiederherstellung der Schutzfunktionen der Wälder infolge von Sturm/Orkan und Änderung der Kosten fürs Holzrücken von abgebrochenem und entwurzeltem Holz.	N5; F1; F2; F4	n1-n7; f1 f3

Tabelle 56: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün und die mittels Sensitivitätsanalyse ausgewerteten Auswirkungen in blau dargestellt.***

Wirkungsmodell

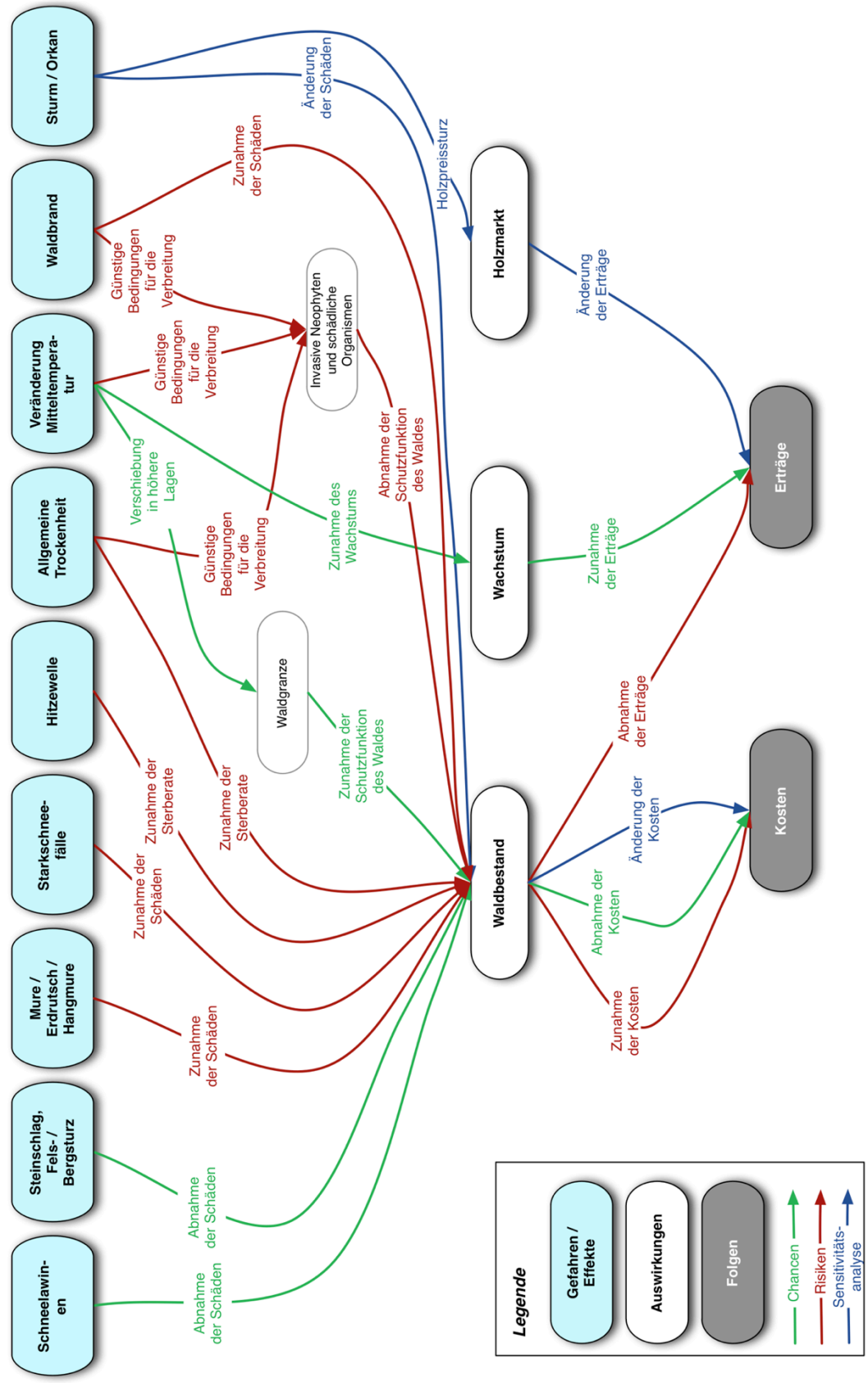


Abbildung 113: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft.

Schneelawinen

Aufgrund der gebirgigen Landschaft stellen Schneelawinen im Tessin ein grosses Schadenpotential für die Wälder dar.

In Bezug auf letztere zeigen Lawinen, welche in hohen Lagen losbrechen, die grössten Auswirkungen. Lawinen, welche oberhalb der Waldgrenze ausgelöst werden (> 2'000 m ü.M.), weisen generell grössere Dimensionen auf (grössere Schneemengen und grossflächigere Anrissgebiete) und erreichen höhere Geschwindigkeiten aufgrund der Abwesenheit von Baumvegetation (hat Reibungswirkung) und der vergleichsweise geringeren Feuchtigkeit des Schnees (tiefere Temperaturen).

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

Während den letzten 15 Jahren (2000-2014) wurden im Tessin 230 Lawinenereignisse registriert, dies entspricht 15 Ereignissen pro Jahr (Sezione forestale cantonale, 2015). Der grösste Teil der Lawinen ereignete sich in bestehenden Lawinenkorridoren. Im Jahr 2009, wo es zu überdurchschnittlich vielen Ereignissen kam (70 Ereignisse), ergaben sich Kosten aufgrund von Waldschäden in der Höhe von rund 1 Mio. Fr. (überwiegend Räumungen von umgefallenen Bäumen. Diese sind notwendig, um die Verbreitung von Schadorganismen wie z.B. Borkenkäfer zu verhindern) (Robert Nicoud, 2015). Diese Kosten entsprechen ca. 15'000 Fr. pro Lawinenereignis. Pro Jahr sind somit mit Kosten von ca. 220'000 Fr. zu rechnen (im Mittel rund 15 Ereignisse pro Jahr).

Als Extremereignis kann der Winter 1950-1951 angesehen werden, während dem oberhalb von 1'000 m ü. M. zahlreiche Lawinen losgerissen sind, mit weitreichenden Konsequenzen. In diesem Zeitraum sind im IV. und VII. Forstkreis (Locarnese) insgesamt 180 ha Wald zerstört worden (total rund 8'600 m^3 beschädigtes Holz) (Galliciotti, 1954). Ein ähnliches Ereignis würde heute zu Kosten in der Höhe von 1.2 Mio. Fr. führen (Die Kosten zur Holzräumung belaufen sich auf ca. 200 Fr./$m^{3,}$ unter der Berücksichtigung, dass nicht das ganze anfallende Holz gerückt wird, wird von mittleren Kosten von ca. 140 Fr./m^3 ausgegangen).

Für beide zukünftigen Szenarien wird ein Anstieg des Niederschlags im Winter prognostiziert, somit in hohen Lagen in Form von Schnee. Dies kann theoretisch zu einem Anstieg der Häufigkeit und Intensität von Lawinen in hohen Lagen führen. Unterhalb von 1'900 m ü. M. ist hingegen mit einer bedeutenden Abnahme der Schneemächtigkeit zu rechnen. Dies führt zu einer geringeren Reichweite der dort auftretenden Lawinen (vgl. Kapitel 4.5.7). In der Folge ist mit einer Abnahme der Waldschäden in tiefen Lagen (< 1'500 m ü. M.) zu rechnen, und zwar um ca. 10 % unter dem Szenario schwach und um ca. 20 % unter dem Szenario stark. In mittleren Lagen (1'500-2'000 m ü. M.) ist hingegen von einer umgekehrten Entwicklung auszugehen. D.h. es wird dort zu einer Zunahme der Waldschäden um 5 % unter dem Szenario schwach und um 10 % unter dem Szenario stark kommen. Insgesamt ist mit einer Abnahme der Kosten um 5 % unter dem Szenario schwach und um 10 % unter dem Szenario stark zu rechnen.

Beim Referenzszenario ist die Unsicherheit primär auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum und die starken jährlichen Schwankungen der durch Lawinen verursachten Schäden zurückzuführen, sie wird als **gering** eingestuft. Für die zukünftigen Schätzungen besteht die

Unsicherheit zusätzlich in der ungewissen zukünftigen Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Lawinen. Sie wird zusammengefasst als **mittel** bewertet.

Starkschneefälle

Starkschneefälle (insbes. Nassschnee) können zu Schäden im Waldbestand führen. Der Druck der Schneelast kann einzelne Äste oder grössere Teile von Bäumen abbrechen, oder sie auch entwurzeln. Speziell problematisch sind früh (bereits im Herbst) oder spät (gegen das Frühjahr hin) eintretende Schneefälle. Beide treten in Jahreszeiten auf, in welchen wärmere Temperaturen herrschen und der Feuchtegehalt des Schnees und damit sein Gewicht höher liegt als im Hochwinter. Frühe Schneefälle können zudem eintreten, wenn Laubbäume noch ein Blätterkleid aufweisen. Dadurch wird die Akkumulation von Schnee begünstigt.

Quantitative Auswirkungen

Schäden im Waldbestand aufgrund eines Extremereignisses

Im Tessin sind keine Daten über Schneebruchschäden vorhanden. Dennoch ist bekannt, dass in der Vergangenheit Starkschneefälle (insbes. Nassschnee) zu grösseren Schäden geführt haben. Zum Beispiel wird davon ausgegangen, dass im Winter 2013-2014 rund 30'000 m^3 Holz infolge von Schneebrüchen anfielen und es waren Aufräumungskosten in der Höhe von ca. 4 Mio. Fr. zu verzeichnen. Davon betroffen war der Waldgürtel zwischen 1'400 und 1'900 m ü. M.

Da in den vergangenen Jahren der Winter 2013-2014 das einzige Ereignis mit grösseren Schäden infolge von Schneebrüchen war, wird er als Extremereignis betrachtet. In Zukunft ist mit einer Zunahme von ca. 10 % der Schäden unter dem Szenario stark zu rechnen. Unter dem Szenario schwach werden jedoch keine Änderungen erwartet.

Qualitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

Primär sind die Kosten durch Schnee nicht auf Produktionseinbussen zurückzuführen, sondern ergeben sich aus der beeinträchtigten Schutzfunktion der Wälder, respektive aufgrund der Mehrkosten durch Räumungsarbeiten.

Die Anzahl Starkschneefälle, sowie der Feuchtegehalt des Schnees in den verschiedenen Höhenlagen werden sich in Zukunft ändern. Letztere hängen direkt mit der prognostizierten Änderung im Niederschlagsregime und der Mitteltemperatur zusammen.

Tendenziell wird unter den zukünftigen Szenarien eine Abnahme der Starkschneefälle in den für den Wald relevanten Höhenlagen erwartet (< 2'000 m ü. M.). Gleichzeitig werden jedoch die Temperaturen generell zunehmen (vgl. Kapitel 4.5.6). So wird davon ausgegangen, dass die Gefahr, welche von einer Zunahme der Mitteltemperatur ausgeht (sie führt zu mehr Nassschnee) durch die Abnahme der Starkschneefälle kompensiert wird. Deshalb werden sich die für den Waldbestand kritischen Faktoren in Zukunft nicht ändern, auch wenn in Zukunft in höheren Lagen vermehrt Niederschläge in Form von Nassschnee auftreten werden. In Zukunft wird sich zudem die Waldgrenze in höhere Lagen verschieben. Diese Entwicklung geht allerdings nur langsam vor sich.

Aufgrund der aufgeführten Punkte stuft die Arbeitsgruppe dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft als **vergleichbar** mit den quantitativ ausgewerteten ein. Dies unter beiden zukünftigen Szenarien (schwach und stark).

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Mobilisierter Schutt kann einzelne Bäume oder ganze Waldbereiche treffen und schädigen.

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

In den letzten 15 Jahren (2000-2014) wurden im Tessin 292 Muren (Murgänge) und 251 Erdrutsche resp. Hangmuren registriert (Sezione forestale cantonale, 2015). Im Mittel treten somit pro Jahr rund 36 Ereignisse (Mure, Erdrutsch und Hangmure) auf. Der grösste Teil der Ereignisse findet vollständig innerhalb des Waldes statt, streift den Wald oder lagert sich dort ab. Oft ereignen sich Muren, Erdrutsche oder Hangmuren in Laubwäldern, in denen die Räumung des Holzes nicht immer notwendig ist (im Vergleich zu Nadelbaumbeständen, siehe oben, wo die Verbreitung von Schadorganismen wie z.B. Borkenkäfer eine Räumung erfordert). Dennoch kann eine Räumung des Holzes notwendig werden z.B. um den Zugang zu gewährleisten beispielsweise wenn Holzfällerarbeiten vorgesehen sind. Unter Berücksichtigung der erwähnten Fakten lässt sich schlussfolgern, dass in rund 10 % der Ereignisse (3.6 Ereignisse pro Jahr) ein Eingriff im Wald notwendig ist. Pro Eingriff ist mit Kosten in der Höhe von ca. 100'000 Fr. auszugehen. Pro Jahr ergeben sich somit infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure Kosten von 360'000 Fr.

Die StorMe-Daten weisen für die Gefahr Mure/Hochwasser im Jahr 2006 am meisten Schäden aus. In diesem Jahr wurden total 54 Ereignisse gezählt. Für die Gefahr Erdrutsch/Hangmuren ist das Jahr 2002 als Extremereignis zu bewerten. Hier kam es total zu 108 Ereignissen. Unter der Annahme, dass diese beiden Jahre als Extremereignisse zählen, wird davon ausgegangen, dass ein hundertjährliches Ereignis Kosten von ca. 1.6 Mio. Fr. verursachen kann.

Unter dem Szenario schwach werden keine signifikanten Änderungen erwartet, während unter dem Szenario stark eine Zunahme der Gefahr angenommen wird (vgl. Kapitel 4.5.4). Deshalb wird unter dem Szenario stark mit einem Anstieg der Kosten (Eingriffe in den Wald) um 30 % gerechnet. Unter dem Szenario schwach bleiben die Kosten hingegen gleich hoch wie heute.

Beim Referenzszenario ist von einer **geringen** Unsicherheit auszugehen. Diese ist primär auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum, die Schätzung der Anzahl notwendiger Eingriffe und auf die in den letzten Jahren stark schwankenden Schadenssummen zurückzuführen. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Allgemeine Trockenheit

Das langanhaltende Ausbleiben von Niederschlägen führt bei Pflanzen zu Trockenstress, der bis zum irreversiblen Austrocknen und dem Absterben der Pflanze führen kann. Generell wird der Prozess durch hohe Lufttemperaturen beschleunigt.

Trockenstress tritt nicht nur im Sommer in Erscheinung. Auch im Winter, wenn tiefe Temperaturen zum Gefrieren des Wassers im Boden führen (insbes. wenn keine Schneedecke vorhanden ist), sind die Pflanzen nicht in der Lage, die Transpiration durch die Zufuhr von Wasser auszugleichen.

Weil das Klima in Zukunft zu höheren Mitteltemperaturen sowie zu einem Rückgang der Niederschläge im Sommer führt, ist es sehr wahrscheinlich, dass während den Sommermonaten die Wälder des Tessins tendenziell öfter Trockenstress ausgesetzt sein werden.

Qualitative Auswirkungen

Es konnten keine statistischen Daten über die Auswirkung von Trockenperioden auf die Wälder im Tessin gefunden werden. Die Sommer 2003 und 2015 liefern hingegen eine klare Vorstellung, welche Auswirkungen längere Trockenperioden auf den Wald haben können. Während diesen Sommern waren deutliche Austrocknungserscheinungen bei den Wäldern der kollinen Stufe erkennbar.

Die zukünftigen Szenarien zeigen, dass unter dem Szenario schwach bezüglich Trockenperioden keine erheblichen Änderungen eintreten, unter dem Szenario stark jedoch wird von einer Zunahme der Trockenperioden um 50 % ausgegangen.

Schäden an Schutzwäldern

Trockenstress ist insbesondere schädlich für tiefer gelegene Wälder (< 500 m ü. M.) in ost- oder westorientierten Hängen, mit konvexer Oberflächenform und geringmächtigen Böden (Conedera, Barthold, Spinedi, Ferrario, & Pezzatti, 2011). Im Tessin erfüllen vor allem die Kastanienwälder diese Kriterien. Die beiden Trockenperioden der Jahre 2003 und 2015 haben gezeigt, dass diese Waldtypen besonders stark auf Trockenstress reagieren. Im Jahr 2003 wurde ausserdem festgestellt, dass Neophyten wie der Götterbaum *(Ailanthus)* und die Robinie *(Robinia)* die Trockenheit vergleichsweise gut ertragen (WSL, M. Conedera).

Da ein grosser Teil der Wälder der kollinen Stufen nahe an Siedlungen und Infrastrukturen liegen, weisen sie häufig eine Schutzfunktion gegenüber letzteren auf. Es ist also möglich, dass infolge der Trockenheit die Schutzwirkung beeinträchtigt wird. Diese ist sowohl auf direkte Auswirkungen (Absterben von autochthonen Arten) als auch indirekte (Verbreitung von Neophyten, welche auf Dauer keine genügende Schutzwirkung aufweisen) zurückzuführen.

Unter dem Szenario stark stuft die Arbeitsgruppe dieses Risiko als **vergleichbar** mit den quantitativ ausgewerteten Risiken ein. Unter dem Szenario schwach, bei welchem keine grosse Veränderung der Trockenperioden erwartet wird (vgl. Kapitel 4.5.10), wird das Risiko als **nicht relevant** eingestuft.

Änderung des Artenspektrums Waldes

Wiederholt auftretende Trockenperioden können sich auf die Artenzusammensetzung der Wälder auswirken, wobei die Änderungen sich insbesondere in Wäldern der kollinen Stufe bemerkbar machen könnten. In Anbetracht der Zunahme von Trockenperioden ist es möglich, dass die Arten, die heute im Waldbereich zwischen 300 und 900 m ü. M. vorkommen, durch trockenheitsresistente Arten ersetzt werden. So könnte es zu einer Abnahme der Kastanie kommen, zugunsten von xerophilen Arten, wie z.B. die Neophyten Götterbaum *(Ailanthus)* und Robinie *(Robinia)*. Das grösste Risiko dieser Auswirkung besteht darin, dass die

neuen Arten die Schutzfunktion des Waldes nicht gewährleisten. Die Auswirkungen auf die Biodiversität der Wälder werden in Kapitel 5.9 erläutert.

Aufgrund dessen und unter Berücksichtigung der grossen Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Tessiner Wälder wird dieses Risiko unter dem Szenario stark als **deutlich geringer** in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft. Da unter dem Szenario schwach keine signifikanten Änderungen zu erwarten sind (vgl. Kapitel 4.5.10), wird das Risiko als **nicht relevant** kategorisiert.

Waldbrände

Waldbrände zerstören durch Feuer und hohe Temperaturen direkt Bereiche des Waldes (Verlust der Beschirmung). Zudem entstehen dadurch neue Flächen, auf welchen sich im Sinne der Schutzwirksamkeit unerwünschte Pflanzenarten ausbreiten können. In den letzten zwanzig Jahren brachen mehr als 95 % der Waldbrände der Schweiz im Kanton Tessin aus. Die abgebrannte Fläche entspricht 88 % der gesamtschweizerisch von Waldbränden betroffenen Waldfläche.

Ob ein Waldbrand natürlicherweise ausgelöst wird, hängt generell von den meteorologischen Bedingungen (Trockenheit, Blitze, Windbedingungen), vom Brandgut und von der Topografie ab. Waldbrände treten im Allgemeinen zwischen Mai und Oktober auf. Im Tessin wurden während den letzten 15 Jahren 33.8 % der Waldbrände, die in diesem Zeitraum ausbrachen, durch Blitze verursacht (Conedera, Cesti, Pezzatti, Zumbrunnen, & Spinedi, 2006).

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

Basierend auf der Datenreihe von 1989 bis 2014 (Sezione forestale Cantonale, 2007) wird davon ausgegangen, dass im Tessin im Mittel ca. 240 ha Wald pro Jahr von Waldbränden betroffen sind. Generell ereignen sich durch Blitzschlag ausgelöste Waldbrände in Nadelwäldern in hohen Lagen (Conedera, Cesti, Pezzatti, Zumbrunnen, & Spinedi, 2006). In tieferen Lagen werden Waldbrände hingegen meistens durch Menschen verursacht (WSL, M. Conedera).

Im Tessin wir nach einem Waldbrand mit Wiederinstandsetzungskosten in der Höhe von ca. 40'000 Fr./ha ausgegangen. Allerdings werden jeweils nur rund 10 % der beschädigten Oberfläche aufgeforstet. Es sind dies in der Regel die Bereiche des Waldes, welche an Siedlungen und Infrastrukturen grenzen.

Die Löscharbeiten (sowohl der natürlichen als auch der durch Menschen verursachten Waldbrände) kosten im Mittel ca. 1 Mio. Fr. pro Jahr (Conedera, Cesti, Pezzatti, Zumbrunnen, & Spinedi, 2006), während die Kosten der waldbaulichen Massnahmen ca. 960'000 Fr. pro Jahr betragen.

Basierend auf den verfügbaren Daten kann das Jahr 1997 als Extremereignis für Waldbrände betrachtet werden (Sezione forestale Cantonale, 2007). Die Löscharbeiten beliefen sich auf Kosten von insgesamt rund 4.3 Mio. Fr., die waldbaulichen Massnahmen auf ca. 5.7 Mio. Fr. Insgesamt ist bei einem Extremereignis unter dem Referenzszenario somit von Kosten von rund 10 Mio. Fr. zu rechnen.

Aufgrund der der Klimaparameter, welche Waldbrände beeinflussen, wird mit einer Zunahme um 5 % der Häufigkeit unter dem Szenario schwach und einem Anstieg um 25 % unter dem Szenario stark gerechnet. Was die Dimension der Ereignisse angeht, sind hingegen im Vergleich zu heute keine Änderungen zu erwarten (vgl. Kap. 4.5.11).

Es wird geschätzt, dass die direkten Schäden an Schutzwäldern unter dem Szenario schwach um ca. 2 Mio. Fr. pro Jahr und unter dem Szenario stark um ca. 2.5 Mio. Fr. pro Jahr zunehmen werden.

Unter dem Referenzszenario ist die Unsicherheit primär auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum und die besonders starken Schwankungen der Schäden im Verlauf der Jahre zurückzuführen, sie wird als **gering** eingestuft. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt die nicht genau bekannte Entwicklung der Häufigkeit und Intensität der Waldbrände hinzu, so dass mit einer **mittleren** Unsicherheit gerechnet werden muss.

Qualitative Auswirkungen

Änderung des Artenspektrums Waldes

Aufgrund der hohen Temperaturen und des Feuers an sich, zerstören Waldbrände fast immer die Gras- und Strauchschicht und sehr oft auch ganze Bäume. Die Störung der Vegetation und der natürlichen Konkurrenz führt dazu, dass sich in den vom Waldbrand betroffenen Bereichen zunächst Pionierpflanzen ansiedeln. Die Kolonisation dieser Bereiche durch „unerwünschte“ Arten (z.B. Robinie, Götterbaum, japanischer Staudenknöterich, Adlerfarn etc.) kann zu einer Abschwächung der Schutzfunktion des Waldes führen. Diese Problematik ist vor allem in tieferen Lagen (< 1'300 m ü. M.) ein Thema, wo die Verbreitung von Neophyten bedeutender ist.

Die Arbeitsgruppe wertet dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft im Vergleich zu den quantitativ analysierten Risiken als **nicht relevant** unter dem Szenario schwach und als **geringer** unter dem Szenario stark ein.

Hitzewelle

Perioden mit sehr hohen Temperaturen (Hitzetage) können bei Pflanzen zu Hitzestress führen. Die Auswirkung der Hitzewellen wird durch die gleichzeitige Trockenheit verstärkt.

Qualitative Auswirkungen

Momentan bestehen keine statistischen Daten über den Einfluss von Hitzewellen auf den Wald. Dennoch waren infolge der Hitzewellen, während den Sommern der Jahre 2003 und 2015, deutliche Auswirkungen auf die Wälder der kollinen Stufe erkennbar.

Unter dem Szenario schwach wird im Vergleich zu heute von einer Zunahme der Hitzewellentage um 97 %, unter dem Szenario stark um 212 % ausgegangen (vgl. Kapitel 4.5.12).

Schäden an Schutzwäldern

Hitzewellen können direkt zum Absterben von Bäumen führen (und damit zum Verlust der Beschirmung) und indirekt die Verbreitung von invasiven Neophyten ermöglichen, wodurch möglicherweise die Schutzfunktion des Waldes beeinträchtigt wird.

Aufgrund der erwähnten Punkte (Absterben von Bäumen und Verbreitung von invasiven Neophyten) und in Anbetracht der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Tessiner Wälder hat die Arbeitsgruppe entschieden, dieses Risiko im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken als **vergleichbar** zu bewerten, und zwar unter beiden zukünftigen Szenarien.

Änderung des Artenspektrums Waldes

Wiederkehrende Hitzewellen können einen Einfluss auf die Artenmischung der Wälder im Tessin haben, insbesondere auf jene der kollinen Stufe. Durch den Anstieg solcher Ereignisse werden die Arten, die heute im Waldbereich zwischen 300 und 900 m ü. M. vorkommen, durch trockenresistentere Pflanzen ersetzt werden. Dieses Ersetzen kann sowohl durch, bezüglich der Schutzfunktion des Waldes, nicht schädliche (z.B. Mannaesche, Steineiche und Zürgelbaum) als auch durch schädliche Arten (z.B. Robinie, Götterbaum) erfolgen. Dennoch besteht das grösste Risiko dieser Ersetzung darin, dass die neuen Arten die Schutzfunktion des Waldes nicht gewährleisten können.

Angesichts dieser Informationen stuft die Arbeitsgruppe dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten als **deutlich geringer** ein.

Steinschlag/Fels-/Bergsturz

Die Geologie und die Höhenlage führen dazu, dass das Tessin u.a. zahlreiche Felswände aufweist. Verwitternde Felspartien und Sturzprozesse können für den Wald ein Gefahrenpotential darstellen. Herunterfallende Steine oder Felsbrocken können einzelne Bäume oder ganze Waldbereiche beschädigen resp. zerstören.

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

In den letzten 15 Jahren (2000-2014) wurden im Tessin insgesamt 487 Steinschlag- oder Felssturzereignisse registriert (Sezione forestale cantonale, 2015). Dies sind im Mittel rund 32 Ereignisse pro Jahr. Ein grosser Teil von ihnen ereignet sich vollständig innerhalb des bewaldeten Gebiets, oder ihre Transit- resp. Ablagerungszone liegt darin. Solche Ereignisse erfordern in der Regel bloss einen Eingriff um die Abrisskante zu entlasten. In der Regel werden umgefallene Bäume nicht weggeräumt, es sei denn, eine grössere Fläche innerhalb von Nadelwäldern ist betroffen (Risiko der Verbreitung von Borkenkäfern). Somit wird davon ausgegangen, dass nur bei rund 10 % aller Sturzereignisse ein Eingriff in den betroffenen Wald erfolgt (3.2 Ereignisse pro Jahr). Für jedes Ereignis wird von Kosten in der Höhe ca. 10'000 Fr. ausgegangen. Daraus ergeben sich jährliche Kosten infolge sämtlicher Sturzprozesse von 32‘000 Fr. pro Jahr.

Berg- und Felsstürze sind sehr seltene Ereignisse. Im Tessin kam es in der Vergangenheit zu folgenden Ereignissen: Crenone (Buzza di Biasca; 1513), der sog. Sasso Rosso in Airolo (1898) und jener von Preonzo (2012). Bei letzterem stürzten ca. 250'000 m^3 Gesteinsmassen ins Tal, wodurch rund 25 ha Wald zerstört wurde. Gleichwohl wurden weder Fäll- noch Räumungsarbeiten durchgeführt.

In den StorMe-Daten ist kein eindeutiges Jahr nachzuweisen, in dem es zu überdurchschnittlich vielen Sturzereignisse kam. Jedoch lässt sich feststellen, dass im Jahr 2012 viele Ereignisse (49) stattfanden. Da aufgrund Datenmangels eine Gumbel-Analyse nicht möglich ist, wird dieses Jahr als Extremereignis gezählt und es sind bei einem hundertjährlichen Ereignis mit Kosten von rund 50‘000 Fr./Jahr zu rechnen.

Die zukünftigen Szenarien prognostizieren einen Rückgang der Häufigkeit und Intensität von Steinschlagereignissen in tiefen Lagen (< 1'500 m ü. M.) und einen Anstieg in höheren Lagen (> 1'500 m ü. M.) unter beiden Szenarien (vgl. Kapitel 4.5.16). Bei Fels- und Bergsturz wird hingegen eine leichte Zunahme in allen Höhenlagen erwartet. Insgesamt wird von einer Abnahme der Schäden am Waldbestand in tiefen Lagen und einer Zunahme in höheren Lagen ausgegangen. Unter dem Szenario schwach ist es wahrscheinlich, dass sich die unterschiedlichen Entwicklungen in den verschiedenen Höhenlagen gegenseitig aufheben (totale Änderung um 0 %), während unter dem Szenario stark eine Abnahme der Gesamtschäden um 10 % zu erwarten ist.

Unter dem Referenzszenario lässt sich die Unsicherheit primär auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum und die besonders starken jährlichen Schwankungen der Schäden zurückführen. Sie wird von der Arbeitsgruppe als **gering** eingestuft. Bei den zukünftigen Schätzungen kommt zudem die unsichere zukünftige Entwicklung der Gefahr Steinschlag/Fels-/Bergsturz hinzu, so dass insgesamt mit einer **mittleren** Unsicherheit gerechnet werden muss.

Veränderung Mitteltemperatur

Höhere Mitteltemperaturen und eine geringere relative Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre führen zu einer erhöhten Evapotranspiration und als Folge dessen zu einem höheren Wasserverbrauch durch die Vegetation. Vor allem in tieferen Lagen können die höheren Mitteltemperaturen zu vermehrtem Trockenstress führen, insbesondere wenn gleichzeitig die Niederschläge abnehmen. In höheren Lagen können die höheren Mitteltemperaturen hingegen zu einem Vorteil führen, aufgrund der längeren Vegetationszeit.

Höhere Temperaturen können aber ausserdem auch die Verbreitung von Parasiten und Krankheitserregern fördern.

Qualitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

Höhere Mitteltemperaturen und insbesondere auch die milderen Temperaturen im Winter können die Verbreitung von Parasiten und Krankheitserreger fördern. Nebst der Zunahme dieser Organismen führen die höheren Temperaturen auch zu deren Verbreitung in höheren Lagen. Trockenstress führt zudem dazu, dass die Bäume verletzlicher gegenüber Parasiten und Krankheitserregern sind.

Momentan werden im Tessin pro Jahr im Mittel 1.5 Mio. Fr. in Präventionsmassnahmen gegen Parasiten und Krankheitserreger investiert. Der grösste Teil davon ist auf die Räumungsarbeiten des angefallenen Holzes infolge von Naturgefahren (Lawinen, Erdrutsche, Murgänge etc.) zurückzuführen.

Aufgrund der prognostizierten Zunahme der Mitteltemperaturen ist davon auszugehen, dass es zu einem Anstieg der Waldschäden aufgrund von Parasiten und Krankheitserregern kommt. Die Arbeitsgruppe schätzt dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten als **deutlich geringer** ein.

Änderung des Artenspektrums des Waldes und der Waldgrenze

Die höheren Mitteltemperaturen könnten unter den verschiedenen Baumarten innerhalb der Wälder zu einer Selektion führen. Nicht alle Arten reagieren nämlich auf die gleiche Weise auf Temperaturzunahmen. Thermophile Arten sind gegenüber sensiblerer Baumarten bevorteilt. Folglich ist mit einer Änderung der Artenzusammensetzung der Wälder zu rechnen, resp. es wird zu einer zunehmenden Ausbreitung von Laubbaumarten in höheren Lagen kommen, dort wo heute Nadelbäume wie Fichte und Lärche wachsen. Letztere werden sich dank der höheren Minimaltemperaturen tendenziell in noch höhere, über der heutigen Waldgrenze liegende, Gebiete ausbreiten. Generell ist somit mit einer Verschiebung der Waldgrenze in höhere Lagen zu rechnen.

Aufgrund des Klimawandels werden sich in den tiefsten Lagen des Tessins klimatische Bedingungen einstellen werden, welche bislang in der Schweiz nicht vorkommen. Auf kalkhaltigen und flachgründigen Stellen wird mit Bedingungen zu rechnen sein, welche vergleichbar mit den tiefsten Lagen am südlichen Gardasee sind. Auf silikatischen und tiefgründigen Böden wird sich vermehrt eine laurophylle Waldvegetation einstellen.

In Anbetracht der erwähnten Entwicklung schätzt die Arbeitsgruppe für den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft diese Chance als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten ein.

Sturm/Orkan

Stürme und Orkane stellen ein grosses Schadenpotential gegenüber Wäldern dar. Die bedeutendsten Orkane, welche in den letzten Jahren die Schweiz heimsuchten, waren Vivian (26.12.1990) und Lothar (1999). Der Sturm Lothar führte in der Schweiz zur bisher grössten Schadensumme. Innerhalb von wenigen Stunden wurden damals schweizweit ca. 13.8 Mio. m^3 Holz geworfen, was ungefähr der in drei Jahren schweizweit geernteten Holzmenge entspricht.

Diese Ertragseinbussen können hohe Summen erreichen. Da die zukünftige Entwicklung von Stürmen und Orkanen nicht bekannt ist, ist es nicht möglich eine Zu- oder Abnahme der Kosten zu prognostizieren.

Quantitative Auswirkungen

Holzmarkt

Im Fall von Lothar und Vivian sind die wirtschaftlichen Konsequenzen im Tessin auf indirekte Auswirkungen zurückzuführen. Aufgrund des Ungleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage von Holz (plötzlicher Anstieg des Holzangebots) kam es zu bedeutenden Holzpreisstürzen. Nebst dem Rückgang der Erträge durch den Holzverkauf wurde insgesamt auch weniger gefällt, um den Holzpreissturz einzuschränken.

Es wird angenommen, dass das Ereignis Lothar im Tessin zu einer Abnahme des Holzpreises um 20 - 30 % führte. Im Zeitraum 2009 - 2015 erreichte der Ertrag durch den Verkauf von Rohholz rund 0.85 Mio. Fr. pro Jahr (Robert Nicoud, 2015). Die indirekte Auswirkung (Holzpreissenkung) eines Extremereignisses im Kanton Tessin wird somit auf 0.2 - 0.3 Mio. Fr. geschätzt.

Qualitative Auswirkungen

Schäden an Schutzwäldern

Windwurf infolge von Stürmen/Orkanen kann grosse Waldflächen betreffen. Im Fall von Schutzwäldern kann dadurch die Schutzfunktion erheblich beeinträchtigt werden. Fürs Tessin konnten keine Daten izu Waldschäden infolge von Stürmen und Orkanen gefunden werden, dies insbesondere deshalb, weil im Tessin in der Vergangenheit (seit Menschengedenken) keine grösseren Waldflächen davon betroffen waren.

5.4.3. Quantitative Analyse

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 114 sind die Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die zugehörigen Werte finden sich in Tabelle 57.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Schneelawinen									
Schäden an Schutzwäldern	-0.18	-0.22	-0.28	-0.10	-0.21	-0.42	-0.10	-0.20	-0.39
Mure/Erdrutsch/Hangmure									
Schäden an Schutzwäldern	-0.29	-0.36	-0.47	-0.18	-0.36	-0.72	-0.23	-0.47	-0.94
Waldbrand									
Schäden an Schutzwäldern	-1.6	-2.0	-2.5	-1.0	-2.1	-4.1	-1.2	-2.5	-4.9
Steinschlag/Fels-/Bergsturz									
Schäden an Schutzwäldern	-0.03	-0.03	-0.04	-0.02	-0.03	-0.06	-0.01	-0.03	-0.06
Bilanz	**-3.3**	**-2.6**	**-2.1**	**-5.3**	**-2.7**	**-1.3**	**-6.3**	**-3.1**	**-1.6**

Tabelle 57: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) für den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft. Es sind sowohl die heutigen Kosten (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenario schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Gefahren/Effekte stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken.***

Die Naturgefahr, welche heute am meisten Waldschäden verursacht, ist der Waldbrand. Die vor allem unter dem Szenario stark erwartete Zunahme dieses Phänomens stellt somit das grösste Risiko für diesen Auswirkungsbereich dar. Die Wald- und wirtschaftlichen Schäden infolge Schneelawinen, Starkschneefälle, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz sind für diesen Auswirkungsbereich weniger bedeutend.

Eine Chance für diesen Auswirkungsbereich besteht in der Abnahme der Gefahren Schneelawinen und Steinschlag/Fels-/Bergsturz, wodurch die Schäden und somit die Kosten an Schutzwäldern abnehmen.

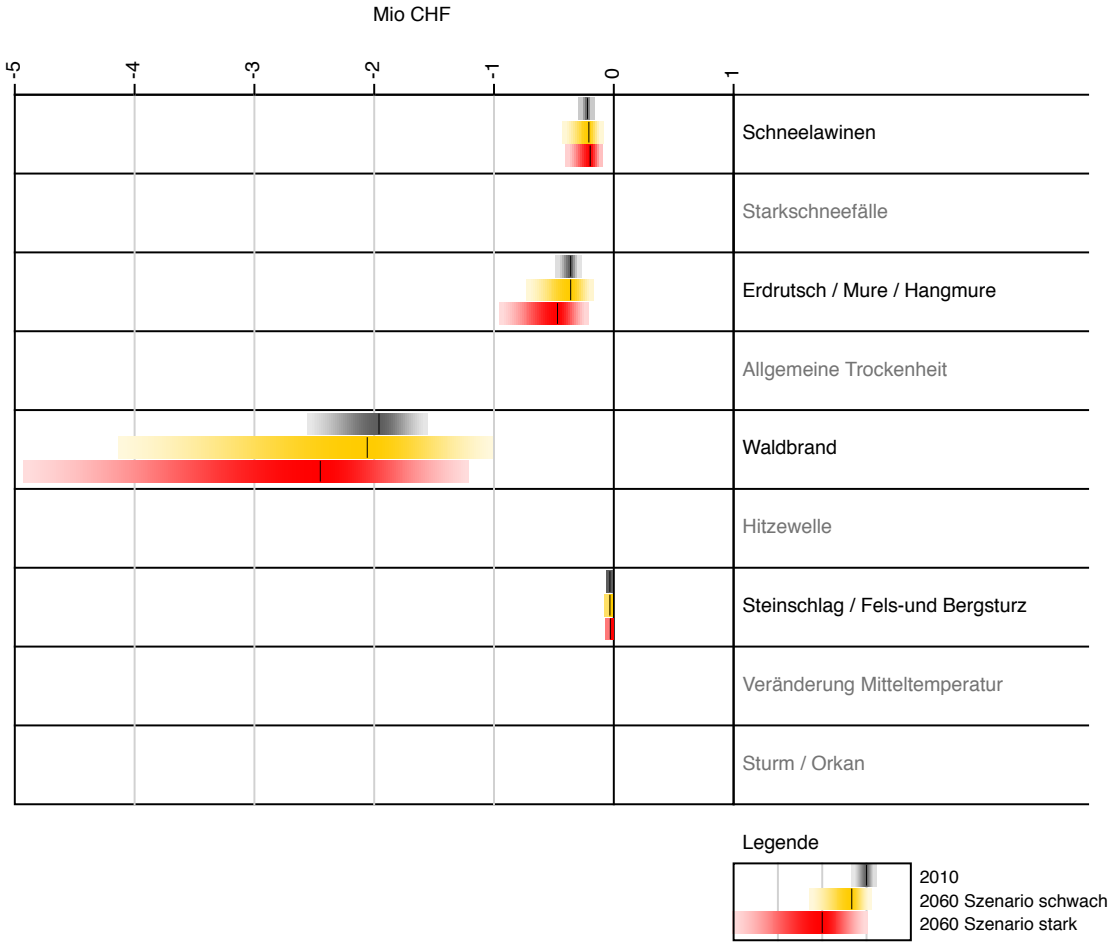


Abbildung 114: Kosten (negativ) und Erträge (positiv) jeder Gefahr oder jedes Effekts für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).

Extremereignisse

In Abbildung 115 sind die Kosten ersichtlich, welche durch ein Extremereignis (einer Gefahr/ eines Effekts) beim Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht dargestellt, da die Unsicherheiten zu gross und schwierig zu definieren sind.

Generell ist festzustellen, dass die Naturgefahren, welche am meisten Waldschäden verursachen können, Waldbrände und Starkschneefälle sind. Es ist jedoch zu erwähnen, dass die Schadensumme infolge eines extremen Waldbrandereignisses mehr als doppelt so hoch als Schäden infolge extremer Starkschneefälle ist.

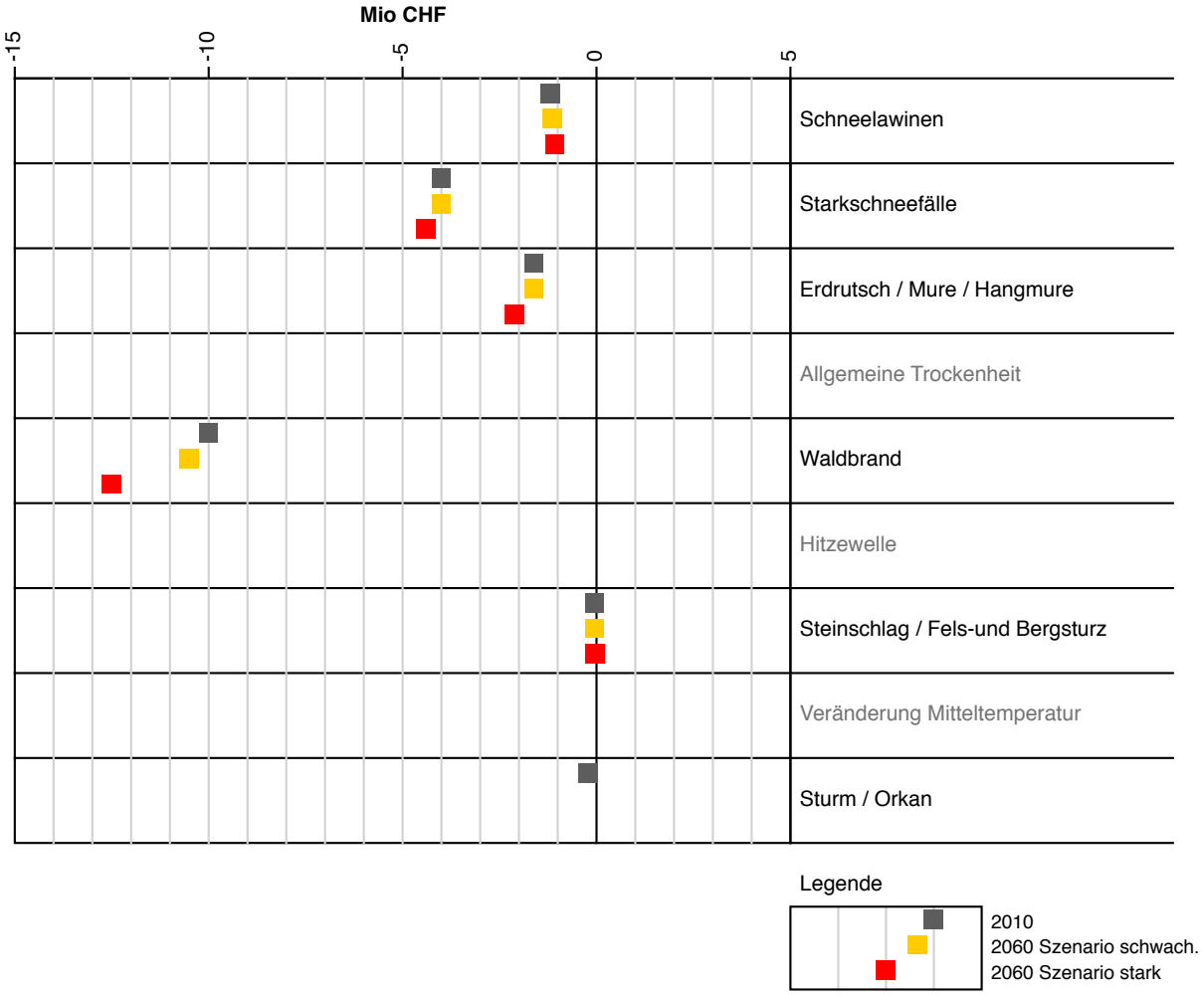


Abbildung 115: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für die Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft

In Abbildung 116 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Energie dargestellt.

Bei der Darstellung der Risiken ist die Zunahme der Kosten infolge durch Naturgefahren verursachten Schäden, welche in Zukunft zunehmen werden, aufezeigt (primär Mure/Erdrutsch/Hangmure und Waldbrand). Im Mittel ist mit einer Zunahme der Kosten von ca. 100‘000 Fr. pro Jahr unter dem Szenario schwach und 600‘000 pro Jahr unter dem Szenario stark zu rechnen.

Die Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft, welche primär auf die Abnahme der Schäden infolge von weniger häufig eintretenden Naturgefahren (Schneelawinen und Steinschlag/Fels-/Bergsturz) zurückzuführen sind, spielen hingegen eine weniger bedeutende Rolle. Die Kosten werden im Mittel um ca. 10'000 Fr. pro Jahr unter dem Szenario schwach und um ca. 30‘000 Fr. pro Jahr unter dem Szenario stark abnehmen.

Die Totalbilanz (vgl. Abbildung 116) zeigt, dass der Klimawandel insgesamt eine leicht negative Auswirkung auf den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft hat.

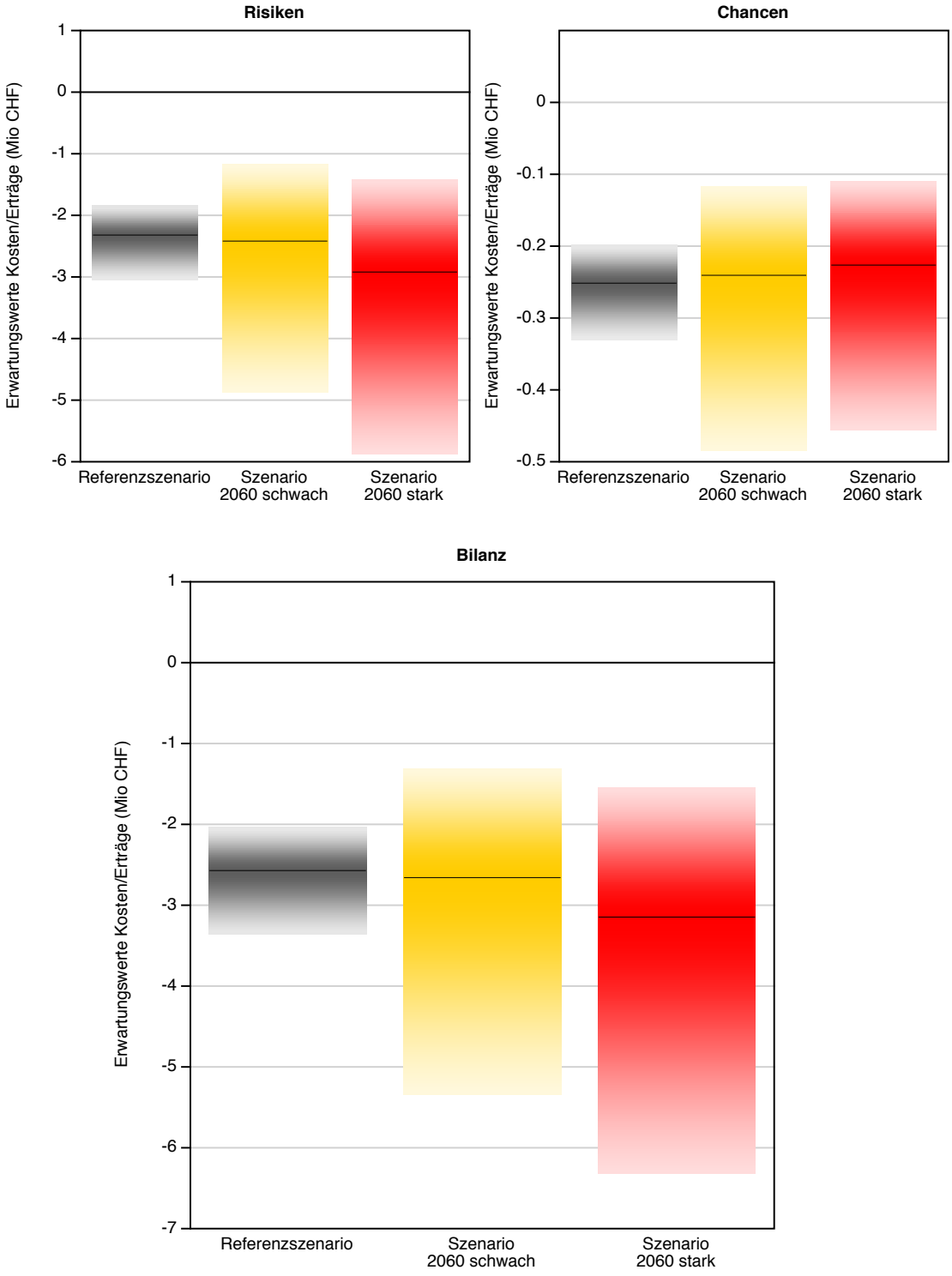


Abbildung 116: Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Kosten sind mit negativen Werten dargestellt. Risiken repräsentieren zunehmende Kosten, Chancen abnehmende. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft. Die Grafik zeigt die jeweiligen Erwartungswerte sowie die Unsicherheitsbalken.

5.4.4. Qualitative Analyse

In Abbildung 117 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten Ergebnissen für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

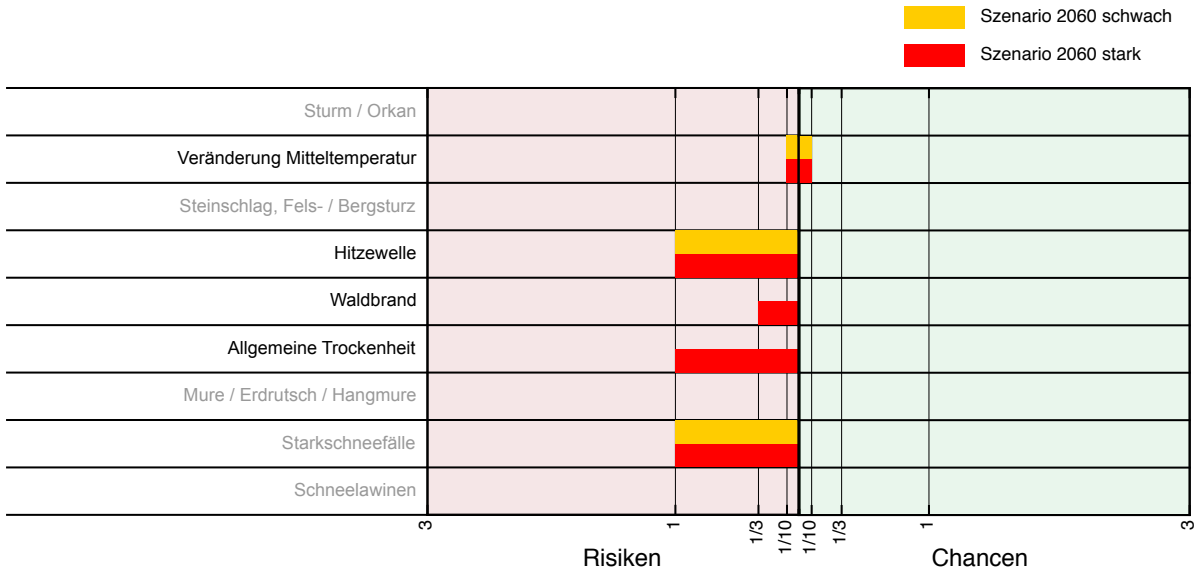


Abbildung 117: ***Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz zeigt, dass die qualitativ ausgewerteten Chancen (sie sind primär auf die Verschiebung der Waldgrenze zurückzuführen) eine „deutlich geringere“ Auswirkung haben als die quantitativ ausgewerteten. Die qualitativ ausgewerteten Risiken (primär infolge der Zunahme der Sterberate der Pflanzen aufgrund von Trockenstress, der Verbreitung von Neophyten und der Zunahme der Waldschäden infolge von Schneebruch) haben eine „vergleichbare“ Auswirkung im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten.

In Tabelle 58 finden sich die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft monetarisiert wurden.

Auswirkungsbereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Wald/Waldwirtschaft	-0.21	0.001	-2.05	0.003

Tabelle 58: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.***

5.4.5. Sozioökonomisches Szenario 2060

Kosten für Eingriffe in Schutzwäldern

Im Tessin sind in den letzten 35 Jahren die Kosten für Waldarbeiten sukzessive gestiegen (vgl. Abbildung 118). Es ist möglich, dass diese Kosten bis 2060 weiter ansteigen und entsprechend auch die Kosten für Eingriffe im Wald infolge von Naturgefahren zunehmen werden.

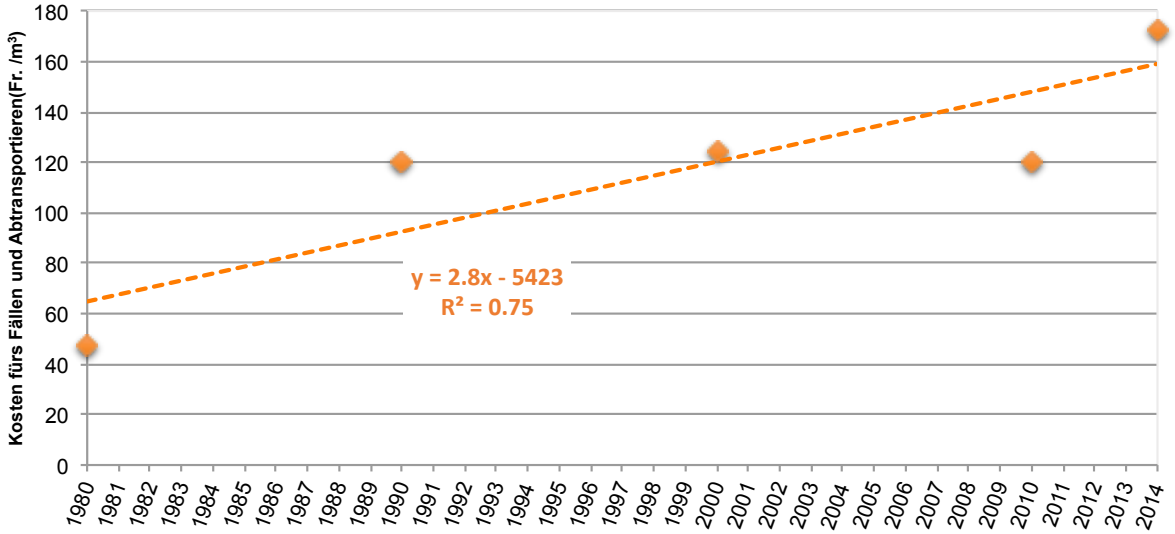


Abbildung 118: Entwicklung der Kosten für das Fällen und Abtransportieren von Bäumen im Zeitraum 1980-2014. Der Trend der Kurve kann als Prognose für 2060 gelten.

Angenommen, die Entwicklung der vergangenen 35 Jahre verläuft auch in Zukunft so weiter, dann kann davon ausgegangen werden, dass im Jahr 2060 die Kosten für das Fällen und Abtransportieren von Holz bei 287 Fr./ m^3 liegen werden. Dabei ist aber zu beachten, dass in Zukunft sehr wahrscheinlich neue Technologien entwickelt werden, dank denen der Aufwand reduziert und dadurch die Kosten sinken werden.

Unter Berücksichtigung beider Aspekte ist bis 2060 mit Kosten von 250 Fr./m^3 zu rechnen (+108 % in Bezug des Wertes im Jahr 2010).

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios wird für den Auswirkungsbereich Wald-/Waldwirtschaft insgesamt als **mittel** eingestuft.

Sozioökonomisches Szenario Wald/Waldwirtschaft

Da die Kosten für Eingriffe in Schutzwäldern als einziger Einflussfaktor auf die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen zählen, werden sie unter dem sozioökonomischen Szenario um insgesamt 108 % zunehmen (dies ist ca. das Doppelte im Vergleich der heutigen Kosten).

Es ist zudem festzustellen, dass unter der prognostizierten sozioökonomischen Entwicklungen die Kosten für Eingriffe in Schutzwäldern steigen.

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrech-nung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Schneelawinen							
Schäden an Schutzwäldern	-0.18	-0.22	-0.28	2.1	-0.23	-0.46	-0.91
Mure/Erdrutsch/Hangmure							
Schäden an Schutzwäldern	-0.29	-0.36	-0.47	2.1	-0.37	-0.75	-1.50
Waldbrand							
Schäden an Schutzwäldern	-1.6	-2.0	-2.5	2.1	-2.0	-4.1	-8.2
Steinschlag/Fels-/Bergsturz							
Schäden an Schutzwäldern	-0.03	-0.03	-0.04	2.1	-0.03	-0.07	-0.14
Total	**-3.3**	**-2.6**	**-2.1**	**-**	**-10.7**	**-5.3**	**-2.7**

Tabelle 59: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

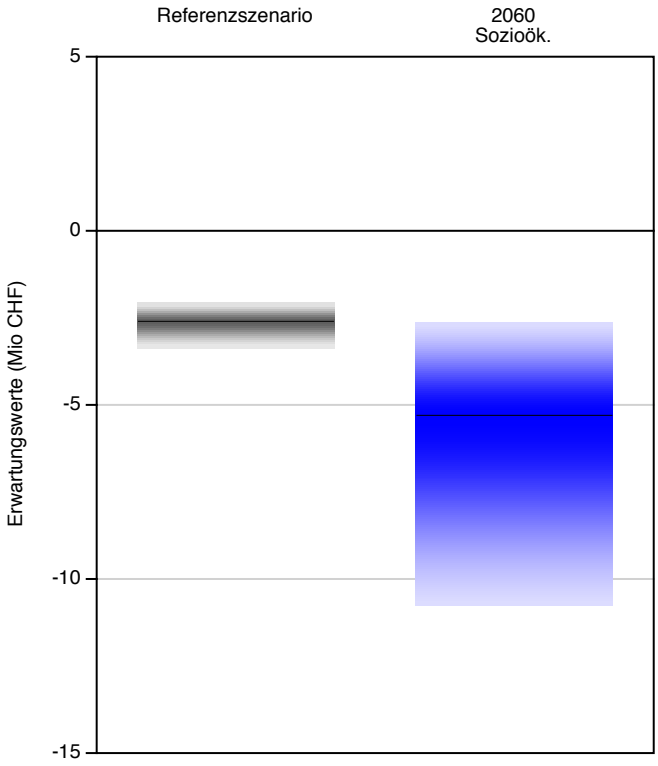


Abbildung 119: ***Grafische Darstellung der heutigen Kosten und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswir-kungsbereich Wald/Waldwirtschaft. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.***

5.4.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft

Die qualitative und quantitative Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft hat mögliche Risiken aufgezeigt, die von eher geringer Bedeutung sind. Die Risiken erwiesen sich unter dem Szenario schwach als **gering** (Kosten von ca. 0.3 Mio. Fr./Jahr) und als **leicht negativ** unter dem Szenario stark (ca. 2.65 Mio. Fr./Jahr). Die Chancen stellten sich unter beiden zukünftigen Szenarien als **gering** heraus (Erträge von wenigen Zehntausend Fr./Jahr bei beiden Szenarien). Zusammenfassend zeigen sich die Auswirkungen als **gering** unter dem Szenario schwach (Kosten von ca. 0.29 Mio. Fr./Jahr) und **leicht negativ** unter dem Szenario stark (Kosten von ca. 2.62 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wald/Waldwirtschaft stellten sich als **leicht negativ** heraus (Kosten von ca. 2.8 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Es ist zu erwähnen, dass in diesem Kapitel einzig die Kosten quantitativ beurteilt worden sind, welche sich aus Wiederinstandsetzungsarbeiten ergeben, quantifiziert werden. Die angewandte Methode bestimmt den effektiven Wert des Waldes nicht, insbesondere was seine Schutzfunktion betrifft. Dieser Wert ist für den Kanton Tessin aber deutlich grösser als die hier quantifizierten Risiken.

5.5. INFRASTRUKTUREN UND GEBÄUDE

5.5.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Gebäude und Wohnungen

Im Tessin gibt es 220‘000 Wohnungen und 104‘032 Wohngebäude (Daten bezogen auf das Jahr 2012). Von diesen befinden sich rund 83 % in den städtischen Agglomerationen Lugano, Locarno, Bellinzona und Chiasso-Mendrisio. Die bebaute Fläche des Tessins beträgt ca. 6'420 ha und macht 2.3 % des Kantonsgebiets aus. Dieser Anteil nahm in den letzten Jahren deutlich zu; in den 1980-er Jahren lag er noch bei 1.7 %.

Im Tessin wurde ein bedeutender Teil (55.3 %) der Wohngebäude vor 1960 gebaut. Gemäss Daten des Jahres 2000 wurden nur 13.6 % der vor 1970 erstellten Gebäude in neuerer Zeit grundlegend renoviert. In Abbildung 120 ist zudem ersichtlich, dass der grösste Teil der Wohngebäude nur eine Wohneinheit enthalten (Einfamilienhäuser). Im Tessin ist 1 % der Wohnungen nicht bewohnt.

Die gesamte Wohnfläche der Gebäude des Tessins beträgt ca. 2‘000 ha. Die Einteilung der Wohnfläche nach Baujahr (vgl. Abbildung 120) zeigt, dass der grösste Teil der Wohnfläche in Gebäuden mit Baujahr 1946 - 1980 liegt. Nebst der Wohnfläche kommt jene der Gebäude für Dienstleistungen (Läden, Hotels, Büros, Resaturants etc.) und jene der Fabriken hinzu, welche in Abbildung 120 nicht aufgeführt sind.

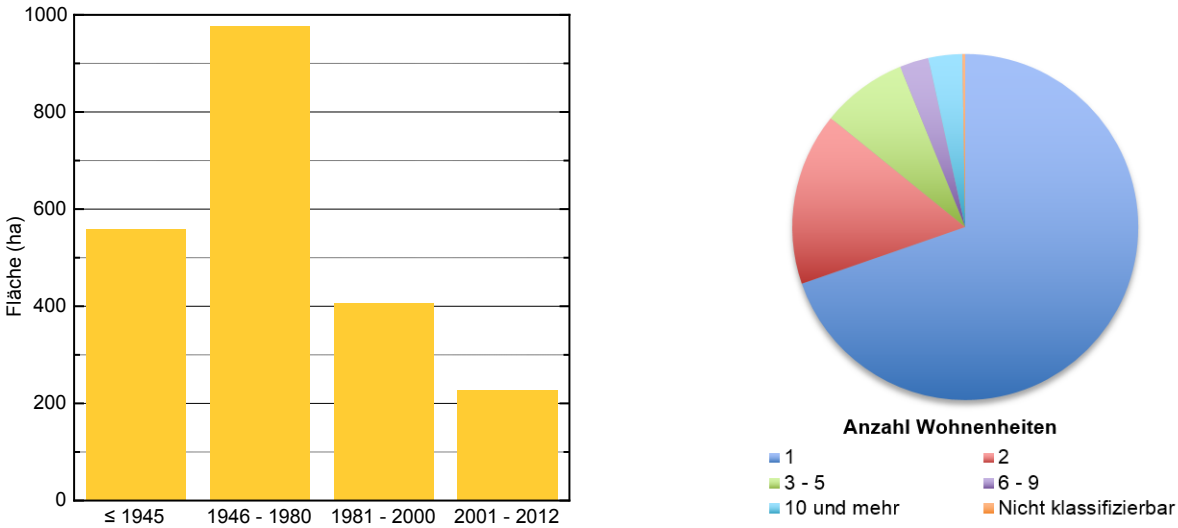


Abbildung 120: Links: Wohnfläche der Tessiner Gebäude nach Baujahr; rechts: Anzahl Wohneinheiten pro gebäude (UStat, 2014b).

Bei der Analyse der Datenreihen bezüglich der Schäden an Gebäuden ist es wichtig zu beachten, dass die Schadensumme von der bestehenden Anzahl Gebäude abhängt. In den letzten Jahrzehnten nahm die Wohnfläche pro Einwohner signifikant zu, so wie auch die Bevölkerung (vgl. Kapitel 4.6). Mit der Zunahme der Wohnfläche nahm auch die bebaute Fläche und mit ihr die Bauten in potentiell durch Naturgefahren gefährdeten Gebieten zu.

In der vorliegenden Studie wird dieser Aspekt mittels einer Korrektur erfasst, die auf der totalen Versicherungssumme über mehrere Jahre basiert (vgl. Abbildung 121). Letztere bezieht sich auf die Versicherungssumme des Referenzjahres (2010). Generell kann festgestellt

werden, dass im berücksichtigten Zeitraum die totale Versicherungssumme, sowohl der mobilen als auch immobilen Güter (Gebäude), um 20 % anstieg; im Falle der Gebäude ergibt sich ein jährliches Wachstum um 2.5 %.

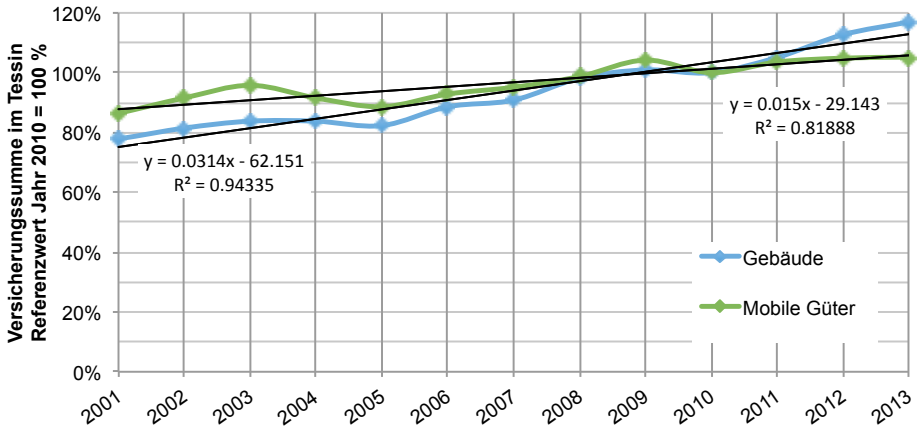


Abbildung 121: Entwicklung der Versicherungssumme von Gebäuden und mobilen Gütern (Wüthrich, 2015). Der Referenzwert bezieht sich auf das Jahr 2010 (100 %).

Ein anderer zu berücksichtigender Aspekt in der zeitlichen Analyse der Schäden an Gebäuden hängt mit dem Baupreisindex zusammen. Dieser stieg während des letzten Jahrzehnts sukzessive an (vgl. Abbildung 122): Zum Beispiel erreichte im Jahr 2001 eine Konstruktion nur 84 % der im Jahr 2010 anfallenden Kosten. In vorliegender Studie wird, zur Vereinfachung der Vergleichbarkeit der Daten der Schäden an Gebäuden über mehrere Jahre, die Gesamtheit dieser Schäden mittels des entsprechenden Baupreisindex korrigiert.

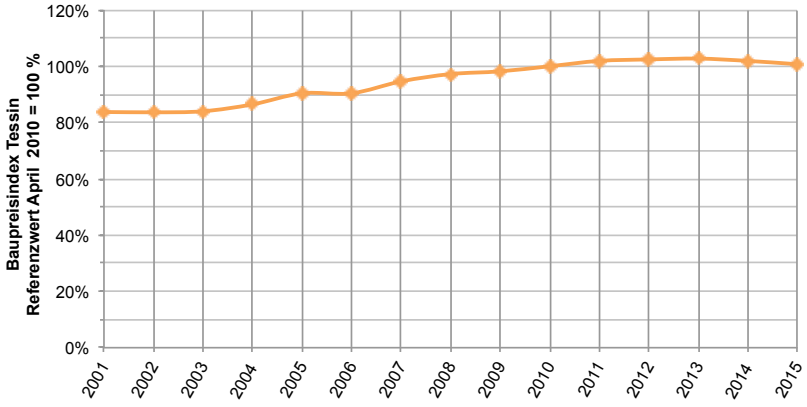


Abbildung 122: Entwicklung des Baupreisindex im Tessin. Der Referenzwert bezieht sich auf das Jahr 2010 (100 %). Alle Daten beziehen sich auf den Monat April (BFS, 2015).

Strassen

Im Tessin weist das Strassennetz eine Gesamtlänge von 3'148 km auf. Von diesen sind 137 km Nationalstrassen (2013) und 1‘956 km Gemeindestrassen (1984) (BFS, 2015b). Die Gesamtlänge der Gemeindestrassen beträgt somit 185 % der Länge der Kantonsstrassen. Da keine Statistiken über die spezifischen Schäden an Gemeindestrassen verfügbar sind, werden diese in dieser Studie auf der Basis der Daten über die Kantonsstrassen analysiert (ähnlicher als Nationalstrassen).

Verteilernetz

Das elektrische Hochspannungsnetz des Tessins wurde in den 1960-er Jahren entwickelt. Die Hauptfunktion dieses Netzes ist der Energieaustausch zwischen der Schweiz und Italien (der Austausch über das Tessin ist im Verlauf der Jahre exponentiell gestiegen). Während den 2000-Jahren wurden alle Engpässe des Netzes entfernt, so dass die ganze Transportkapazität der Elektroden bei 380/220/150 kV verfügbar ist. Im Tessiner Stromnetz wurde eine maximale Stromversorgung von 480 MW im Jahr 2009 erreicht.

Das Mittelspannungs- (16 kV) und das Niederspannungsnetz (0.4 KV) finden sich in den Städten, in ländlichen Gebieten sowie in Tälern. Nebst der Problematik in Zusammenhang mit dem Landschaftsbild besteht hier ein grösseres Risiko für Stromunterbrüche z.B. infolge von Starkschneefall, Sturm, Hochwasser und Erdrutsch.

Erdgas wurde im Tessin in der zweiten Hälfte der 1980-er Jahre durch den Bau der Gasleitung zwischen Bizzarone und Lugano von der AIL (Aziende Industriali di Lugano) eingeführt. Momentan wird Erdgas ausschliesslich von Italien importiert und das Verteilernetz des Erdgases, von vier Firmen geregelt, erstreckt sich zu einem grossen Teil im Gebiet Sottoceneri. In den letzten Jahren wurde eine Gasleitung erstellt, die Vezia mit der Magadinoebene verbindet. Dies erlaubt eine Verteilung von Erdgas im Sopraceneri und im Misox (Projekt Metanord).

Die hauptsächliche Verletzlichkeit dieses Netzes besteht darin, dass sie heute an nur einer Stelle in den Kanton gelangt. Ein Schaden in der Hochdruck-Gasleitung im Mendrisiotto, z.B. während einer Kälteperiode, könnte das ganze energetische System lahmlegen und grosse Ertragseinbussen im Industriesektor (verbraucht tendenziell immer mehr Gas für thermische Prozesse) verursachen. Da das gesamte Gasnetz jedoch unterirdisch und in ebenen Gebieten verläuft, ist die Gefahr von Schäden durch Naturgefahren (z.B. Erdrutsch) praktisch null.

Zur Verfügung stehende Daten

Sektor	Datenquelle		Beobachtungszeitraum
Gebäude	Datenbank der ASA (Schweizerischer Versicherungsverband)[16]		2001-2012
Mobile Güter	Datenbank der ASA (Schweizerischer Versicherungsverband)		2001-2012
Transportinfrastruktur	Kantonsstrassen: Nationalstrassen: Eisenbahn SBB:	Bericht des Staatsrats 2014 Experteninformationen (ASTRA, M. De Lorenzi) Experteninformationen (SBB, E. Barelli)	2001-2014 2008-2014 1980-2014
Infrastruktur zur Energieverteilung	AIL-Netz: OFIMA-Netz: SES-Netz:	Informazioni da esperti (AIL, G. Mameli) Informazioni da esperti (OFIMA, A. Baumer) Informazioni da esperti (SES, P. Ceschi)	- - -
Evakuierte	StorMe - Daten	Sezione Forestale Cantonale (2015)	1980-2014

Tabelle 60: Quellen und Beobachtungsperiode der verwendeten Daten für die quantitative Analyse des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude.

[16] Alle aktiven privaten Versicherungen des Tessins sind Mitglied dieses Verbands und liefern Informationen bezügl. der bei ihnen verzeichneten, jährlichen Schadensummen. Die Daten werden auf einer spezifischen Plattform gesammelt, die einen Marktanteil von ca. 95 % ausmachen (ASA, M. Wüthrich).

Für die quantitative Analyse der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude wurden Daten unterschiedlicher Quellen ausgewertet: Datenbanken, Literatur und Experteninformationen. In Tabelle 60 sind alle Quellen (mit Angabe des jeweiligen Beobachtungszeitraums der für diese Analyse verwendeten Daten aufgeführt.

Unterteilung der Schäden für die verschiedenen Naturgefahren

Die Naturgefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure kann die vorübergehende Sperrung der Strassen bewirken und führt zu hohen Kosten für die Räumung des angefallenen Materials und die Sicherung des betroffenen Gebiets. Hinzu kommen die Schäden infolge der Gefahr Hochwasser. So können Überschwemmungen der Tessiner Seen zu grossen Schäden und Sperrungen von Strassen führen. In dieser Analyse werden die Gefahren Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz berücksichtigt. Auf die Gefahr Schneelawinen wird hingegen nicht eingegangen, weil sie zum heutigen Zeitpunkt keine relevanten Schäden an Strassen verursachen (USTRA, M. De Lorenzi).

Die ausgewerteten Daten für die Kantons- und Nationalstrassen sind nicht nach den verschiedenen Naturgefahrenarten unterteilt. Um die Unterteilung der Schäden nach Naturgefahr zu erlauben, wurde der prozentuale Anteil der Schäden pro in Frage kommender Naturgefahr berechnet. Dies geschah auf der Basis der Schäden an Gebäuden, mobilen Gütern und der Eisenbahn (vgl. Tabelle 61). Die Unterteilung der Schäden an Strassen basiert somit auf der Annahme, dass Gebäude, mobile Güter und die Eisenbahn annähernd in denselben Gebieten liegen und durch dieselben Naturgefahren gefährdet sind.

	Hochwasser	Mure/Erdrutsch/Hangmure	Steinschlag/Fels-/Bergsturz
Gebäude[17]	4.6	0.7	0.3
Mobile Güter[18]	3	0.4	0.1
Eisenbahn (SBB)[19]	-	0.05	0.02
SUMME	7.6	1.2	0.4
PROZENTUAL	83 %	13 %	4 %

Tabelle 61: ***Mittlere jährliche Schäden (in Mio. Fr.) an Gebäuden, mobilen Gütern und der Eisenbahn durch die Gefahren Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz und prozentualer Anteil jeder Naturgefahr (Wüthrich, 2015) und (Barelli, 2015).***

[17] Mittelwert des Zeitraums 2001-2012.

[18] Mittelwert des Zeitraums 2001-2012.

[19] Mittelwert des Zeitraums 1980-2009.

5.5.2. Gefahren und Effekte 2060

Auf der Basis der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) müssen für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude folgende Gefahren und Effekte ausgewertet werden: Schneelawinen, Starkschneefälle, Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Gewitter/Hagel, Waldbrand, Hitzewelle, Auftauen Permafrost, Steinschlag/Fels-/Bergsturz, Veränderung Mitteltemperatur und Sturm/Orkan. Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 62. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude ist in Abbildung 123 ersichtlich. In diesem Auswirkungsbereich werden Schäden an folgenden Gütern analysiert: Gebäude, mobile Güter, Transportinfrastruktur (Strassen und Eisenbahn und Zustand des Strassenasphalts), übrige Infrastrukturen (Energieverteilung), Fahrzeuge und indirekte Auswirkungen dieser Schäden (z.B. Unterbruch von Dienstleistung und Handel und Auswirkung auf die industrielle Produktion). Es wurde jedoch nicht auf die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energieverbrauch in Gebäuden und Fahrzeugen (z.B. Abnahme des Heizungsbedarfs und Zunahme des Energiebedarfs zur Kühlung von Gebäuden) eingegangen. Diese werden im Auswirkungsbereich Energie erläutert, während die Schäden an der Trink- und Abwasserinfrastruktur im Auswirkungsbereich Wasserwi rtschaft analysiert werden.

Aufgrund der Schwierigkeit bezüglich Datenbeschaffung wurden die Schäden an der Telekommunikation und an Skiliften im Berggebiet nicht analysiert. Generell sind diese Schäden jedoch von untergeordneter Bedeutung und teilweise in den analysierten Bereichen miteinbegriffen (z.B. Gebäude).

Im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude werden für die Analyse von Naturgefahren und Waldbränden, welche infolge des Klimawandels Änderungen aufweisen, die folgenden Indikatoren berücksichtigt:

- Vermögensschäden (alle materiellen Schäden an oben erwähnten Gütern)
- Anzahl Evakuierte

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 62 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Für diesen Auswirkungsbereich sind die wichtigsten Handlungsfelder, jene in Zusammenhang mit Naturgefahren (N), die Handlungsfelder Seeregulierung (W7) und Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen (E4). Die relevantesten Massnahmen sind die folgenden: n1 bis n7 (Massnahmen in Bezug auf die Prävention und das Monitoring von Naturgefahren), w5 (Seeregulierung), w6 (Schweizer See- und Speichermanagement im internationalen Kontext), e7 (Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels bei der Geneh-

migung und Aufsicht von Übertragungs- und Verteilnetzen) und e8 (Aufzeigen der Wirkungszusammenhänge der Klimaauswirkungen und Anpassungsmassnahmen in den verschiedenen Bereichen).

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungsfelder	Massnahmen
Schneelawinen	Abnahme der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern			n1 – n7
	Abnahme der Anahl Evakuierter.			n1 – n7
		Abnahme der indirekten Konsequenzen der Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden (Ertragseinbussen).		n1 – n7
Starkschneefälle	Abnahme der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.			
	Abnahme der Schäden am Stromverteilernetz.		E4	e7; e8
		Abnahme der indirekten Konsequenzen der Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden (Ertragseinbussen).		
Hochwasser	Zunahme der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.		N1; GA7	n1 – n7; ga5; ga6
	Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen (Strassen).		N1; GA7	n1 – n7; ga5; ga6
		Indirekte Konsequenzen der Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden (Ertragseinbussen).	N1; GA7	n1 – n7; ga5; ga6
Mure/Erdrutsch/Hangmure	Zunahme der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.		N3	n1 – n7
	Zunahme der materiellen Schäden an Transportinfrastrukturen		N3	n1 – n7
	Zunahme der materiellen Schäden am Stromverteilernetz.		N3; E4	n1 – n7; e7; e8
	Zunahme der Anzahl Evakuierter.		N3	n1 – n7
		Zunahme der indirekten Konsequenzen der Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden (Ertragseinbussen).	N3	n1 – n7
Gewitter/Hagel	Änderung der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.			
		Änderung der indirekten Konsequenzen der Schäden an Infrastruktu-		

		ren und Gebäuden (Ertragseinbussen).		
Waldbrand		Zunahme der indirekten Konsequenzen der Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden (Ertragseinbussen).		
		Zunahme der Schäden an mobilen Gütern.		
		Zunahme der Schäden am Stromverteilernetz.	E4	e7; e8
Hitzewelle		Zunahme der Schäden am Strassenbelag (Verformungen).		
Auftauen Permafrost		Zunahme der möglichen materiellen Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden in Gebieten mit auftauendem Permafrost.		n1 – n7
Steinschlag/Fels-/Bergsturz	Abnahme der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.		N4	n1 – n7
	Abnahme der materiellen Schäden an Transportinfrastrukuren.		N4	n1 – n7
	Zunahme der Schäden am Stromverteilernetz.		N4; E4	n1 – n7; e7; e8
	Abnahme der Anzahl Evakuierter.		N4	n1 – n7
		Indirekte Konsequenzen der Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen und (Dienstleistung und Industrie).	N4	n1 – n7
Veränderung Mitteltemperatur	Abnahme der Kosten für den Winterdienst.			
		Abnahme der Schäden am Strassenbelag infolge von Verformungen durch tiefe Temperaturen.		
Sturm/Orkan	Änderung der materiellen Schäden an Gebäuden und mobilen Gütern.			
		Änderung der Erträge im Bereich Industrie und dem Handel infolge von Stromunterbrüchen.		

Tabelle 62: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün und die mittels Sensitivitätsanalyse ausgewerteten Auswirkungen in blau dargestellt.***

Wirkungsmodell

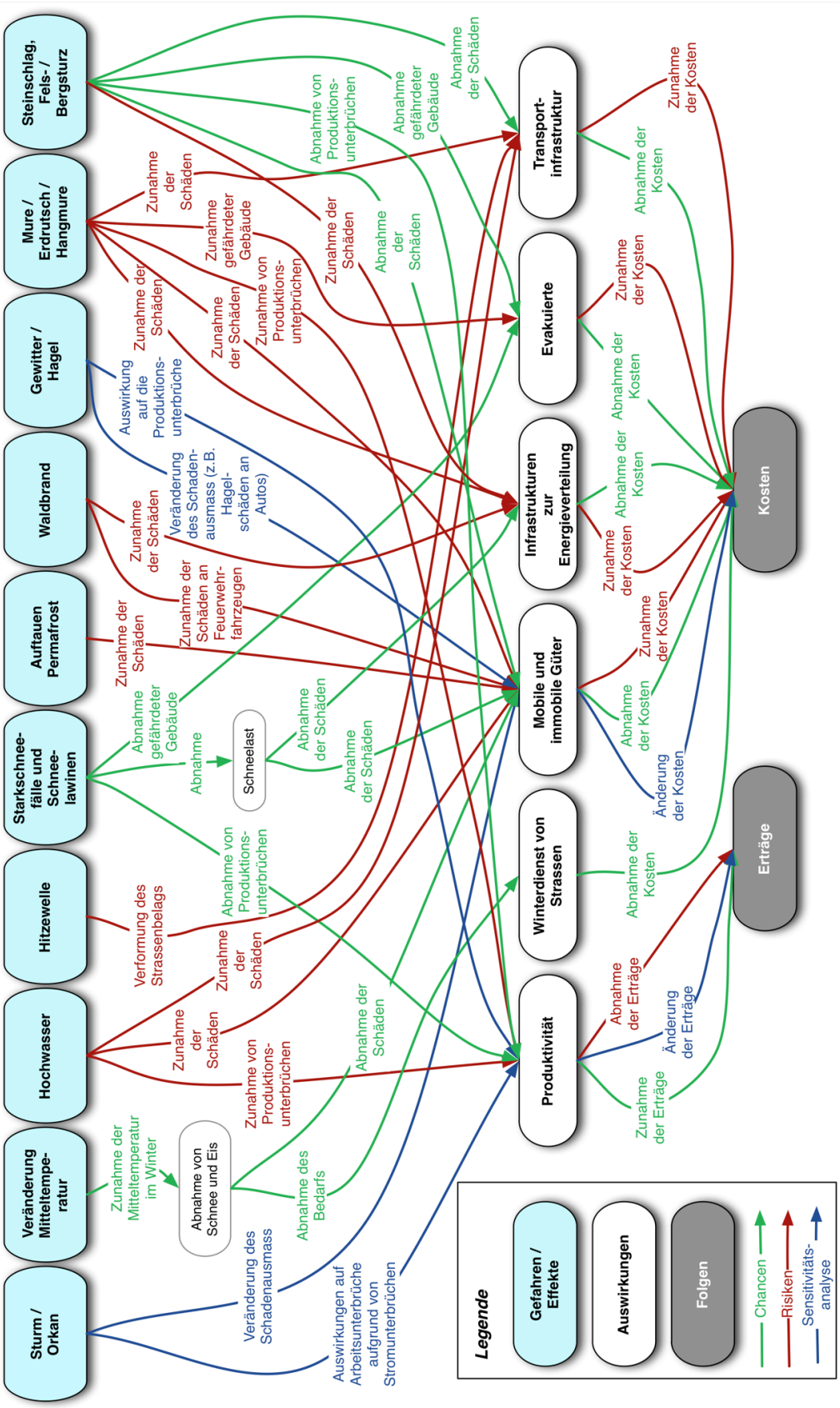


Abbildung 123: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

Schneelawinen

Quantitative Auswirkungen

Im Tessin verursachen Lawinen, auch wenn zunehmend seltener, jährlich Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden insbesondere in den Tälern und hohen Lagen.

Materielle Schäden an Gebäuden

Gemäss den Daten der ASA (mittels des jährlichen Baupreisindex korrigiert) und der gesamten langjährigen Versicherungssumme (gemäss der in Kapitel 3.5 erläuterten Methode analysiert) beläuft sich die jährliche mittlere Schadensumme (Zeitraum 2001 – 2012), welche durch Lawinen an Gebäuden (Wohngebäude, Landwirtschaftsgebäude und andere) auf rund 68‘000 Fr.

Als Extremereignis kann das Jahr 1999 betrachtet werden, wo in der gesamten Schweiz mehr Lawinen als im langjährigen Mittel und Schäden von über 56 Mio. Fr. registriert worden sind. Unter Berücksichtigung des Anteils des Tessins an der gesamtschweizerischen alpinen Oberfläche (11 %) und in Anbetracht des Verhältnisses zwischen den Schäden an mobilen und immobilen Gütern des Zeitraums 2001 bis 2012 ergibt dies eine Schadensumme an Tessiner Gebäuden von 5 Mio. Fr.

Da sich die Infrastrukturen und Gebäude des Tessins grösstenteils in relativ tiefen Lagen finden, werden diese hauptsächlich von jenen Lawinen beeinträchtigt, welche tiefe Lagen (< 1‘500 m ü. M.) erreichen. Unter dem Szenario schwach kann von einer Abnahme der Lawinen um 10 % für Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von ≤ 5 Jahre und 0 % für grössere Wiederkehrperioden ausgegangen werden. Unter dem Szenario stark wird eine Abnahme um 20 % für Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von ≤ 5 Jahre und 12.5 % für grössere Wiederkehrperioden angenommen (vgl. Kapitel 4.5.7). Insgesamt kann mit einer Abnahme der Schäden durch Lawinen an Gebäuden um 7 % unter dem Szenario schwach und 10 % unter dem Szenario stark gerechnet werden.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Lawinen verursachten Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Lawinen hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Die mittlere jährliche Schadensumme, welche durch Lawinen an mobilen Gütern (Güter zum Wohnen, landwirtschaftliche Güter, Autos etc.) verursacht wird, beläuft sich auf etwa 18‘000 Fr; auch in diesem Fall wurden die aktuellen Schäden aus Daten des Zeitraums 2001 bis 2012 ermittelt.

Als Extremereignis wurde wiederum das Jahr 1999 betrachtet. In diesem Jahr (unter Berücksichtigung der Fäche des Tessins im Vergleich der gesamtschweizerischen alpinen Fläche und in Anbetracht des Verhältnisses zwischen den Schäden an mobilen und immobilen Gütern im Zeitraum 2001 – 2012) belaufen sich die Schäden an mobilen Gütern auf ca. 1.3 Mio. Fr.

Analog zu den Gebäuden wurden auch hier wiederum nur Lawinen, die tiefe Lagen (< 1‘500 m ü. M.) erreichen, berücksichtigt. Insgesamt kann mit einer Abnahme der Schäden durch Lawinen an mobilen Gütern um 6 % unter dem Szenario schwach und 8 % unter dem Szenario stark gerechnet werden.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist wiederum primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Lawinen verursachten Schäden je nach Jahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Lawinen hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen

Während der Referenzperiode (1980 - heute) wurden im Tessin keine Schäden durch Lawinen am Eisenbahnnetz verursacht. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass heute Lawinen für die Eisenbahn nicht problematisch sind.

Obwohl die mittleren jährlichen Schäden annähernd gleich Null sind, verursachte eine Lawine mit einem Volumen von rund 80‘000 m^3 in Travi (Strecke Airolo-Bodio) Schäden in der Höhe von 5 Mio. Fr., dies aufgrund der Zerstörung von Lawinenverbauungen. Das Ereignis gilt als hunderjährlich.

Da es sich vermutlich um Extremereignisse tiefer Lagen (< 1500 m ü. M.) handelt, wird unter dem Szenario schwach im Vergleich zum Referenzszenario von keinen Änderungen ausgegangen, während unter dem Szenario stark ein Zunahme von 12.5 % erwartet wird (vgl. Kapitel 4.5.7).

Evakuierte

In den Tessiner Tälern kann es vorkommen, dass infolge von erhöhter Lawinengefahr Wohngebiete evakuiert werden müssen. Zwischen 1980 und 2009 (Referenzperiode) wurden im Tessin insgesamt 40 Personen evakuiert. Da diese Zahl auf nur ein Ereignis zurückzuführen ist, ergibt dies einen jährlichen Mittelwert von 1.3 Personen (Ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 30 Jahren). Durch die Monetarisierung dieses Index, mittels Kosten von 10‘000 Fr. pro evakuierter Person (EBP/SLF/WSL, 2013b), resultieren daraus jährliche Kosten von 13‘000 Fr.

Im Jahr 1994 (hundertjährliches Ereignis) wurden insgesamt 40 Personen evakuiert. Dies ergibt Kosten in der Höhe von 400‘000 Fr.

Auch in diesem Fall handelt es sich um ein Extremereignis tiefer Lagen (< 1500 m ü. M.), so dass unter dem Szenario schwach keine Änderungen prognostiziert sind. Unter dem Szenario stark ist jedoch mit einer Zunahme der Schäden um 12.5 % zu rechnen (vgl. Kapitel 4.5.7).

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ergibt sich aus den möglicherweise nicht vollständigen Daten bezügl. Anzahl Evakuierter in der StorMe-Datenbank. Hinzu kommen die jährlichen Schwankungen der Gefahr Lawine an sich. Insgesamt ist die Unsicherheit **gering**. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Lawinen hinzu, wodurch sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Schäden durch Lawinen an Gebäuden, Verkehrswegen und Verteilungsnetzen von Strom, Wasser und Gas führen zu indirekten Folgen im Bereich Industrie und Dienstleistungen. Beispielsweise können Unterbrüche von Verkehrswegen (Strassen oder Eisenbahn) Transporte stoppen oder verlangsamen, wodurch es zu Ertragseinbussen bei Firmen kommt.

In Zukunft könnten infolge der abnehmenden Lawinen auch die Ertragseinbussen von Industrien und Dienstleistungen zurückgehen.

Da Lawinen vor allem in Tälern und hohen Lagen vorkommen, wo nur wenige Industrie- oder Dienstleistungseinrichtungen vorzufinden sind, wertet die Arbeitsgruppe für beide zukünftigen Klimaszenarien die Chance der geringeren Lawinengefahr als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

Starkschneefälle

Starkschneefälle können grosse Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden verursachen. Die Schneelast kann in der Tat Gebäude und Infrastrukturen zur Energieverteilung gefährden. Diese Schäden hängen stark mit dem Feuchtegehalt des Schnees zusammen, da Nassschnee einen deutlich grösseren Druck (höheres Gewicht) als Trockenschnee erzeugt. Die Anzahl Starkschneefälle sowie der Feuchtegehalt des Schnees in verschiedenen Höhenlagen werden in Zukunft Änderungen unterworfen sein, infolge der Änderung im Niederschlagsregime sowie der Mitteltemperatur.

Quantitative Auswirkungen

Materielle Schäden an Gebäuden

Momentan belaufen sich die Schäden an Gebäuden aufgrund des Schneedrucks auf 1 Mio. Fr. pro Jahr (Berechnung basiert auf der in Kapitel 3.5 erläuterten Methode).

Die Auswertung dieser Datenreihen mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass im Falle eines Extremereignisses mit Schäden an Gebäuden in der Höhe von 5.6 Mio. Fr. zu rechnen ist.

Im Tessin ereignen sich Schäden an Gebäuden durch Schneelast generell unterhalb von 1900 m ü. M., wo sich der grösste Teil der bebauten Fläche befindet. Aus diesem Grund beziehen sich die zukünftigen Szenarien dieser Gefahr auf Schätzungen für Ortschaften, die unterhalb von 1900 m ü. M. liegen. Hier ist ein Rückgang der Starkschneefälle um 20 % unter dem Szenario schwach und um 40 % unter dem Szenario stark prognostiziert.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Starkschneefälle verursachten Schäden in den verschiedenen Jahren und die Tatsache, dass die Schadensdaten sich auf erhöhte Schneelasten und nicht eindeutig auf Starkschneefälle beziehen, zurückzuführen; sie ist als gering einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Starkschneefälle hinzu, so dass sich insgesamt eine mittlere Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Schäden an mobilen Gütern infolge erhöhter Schneelasten belaufen sich im Tessin auf ca. 20‘000 Fr. pro Jahr.

Mittels der Gumbel-Analyse wurden die Schäden eines Extremereignisses auf 875‘000 Fr./Jahr geschätzt (vgl. Kapitel 3.7).

Für die Berechnung der zukünftigen Szenarien wird die Abnahme der Starkschneefälle unterhalb von 1‘900 m ü. M. berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5.6). Es ist somit von einem Rückgang der Kosten um 20 % unter dem Szenario schwach und um 40 % unter dem Szenario stark auszugehen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Starkschneefälle verursachten Schäden je nach Jahr und die Tatsache zurückzuführen, dass die Schadensdaten sich auf erhöhte Schneelasten und nicht eindeutig auf Starkschneefälle beziehen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Starkschneefälle hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Infrastrukturen zur Energieverteilung

Starkschneefälle können in Wäldern Schneebrüche von Bäumen bewirken. Diese wiederum können z.B. Freileitungen beschädigen. Erdleitungen (der grösste Teil der AIL) sind jedoch von dieser Problematik ausgeschlossen, da der Schnee auf diese keinen Einfluss ausübt.

Starkschneefälle verursachen nicht nur Schäden an Niederspannungsleitungen. In der Tat registrieren die Wasserkraftwerke der Maggia und des Bleniotals (OFIMA/OFIBLE), deren Netz primär aus Mittel- und Hochspannungsleitungen besteht, bedeutende Schäden.

Die SES (azienda elettrica sopracenerina) ist die wichtigste Firma zur Energieverteilung des Tessins und ist somit am empfindlichsten gegenüber Starkschneefällen. Jedes Jahr registriert diese Firma relativ hohe Kosten für Reparaturen und Eingriffe infolge von Starkschneefällen. Die Kosten umfassen einzig die direkten Kosten für die Erkennung des Problems, das Material und das Personal bis zur Wiederinbetriebnahme des betroffenen Netzes. Im Durchschnitt dauert ein solcher Eingriff rund eine Stunde. Die Kosten der Ertragseinbussen aufgrund des Betriebsunterbruchs werden jedoch nicht berücksichtigt.

Da die AIL und SES den grössten Teil des Tessins versorgen (mit Ausnahme der Städte Bellinzona und Mendrisio) und einen grossen Anteil der Freileitungen besitzen, kann davon ausgegangen werden, dass die Daten von diesen Firmen repräsentativ sind für den ganzen Kanton. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass Starkschneefälle im Tessiner-Stromnetz Schäden von ca. 1.1 Mio. Fr./Jahr verursachen.

Der Winter 2013 - 2014 zeichnete sich durch vermehrt auftretende Starkschneefälle aus. Die Schäden am Stromverteilernetz waren somit höher als im langjährigen Mittel. Dieses Jahr kann als Extremereignis definiert werden, in welchem Schäden in der Höhe von ca. 1.6 Mio. Fr./Jahr entstehen.

Es ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass Schäden an Infrastrukturen durch Starkschneefälle oder andere Naturgefahren, deutlich geringere Kosten verursachen, als die üblichen Wartungsarbeiten. Die beschädigten Infrastrukturen sind zudem oft bereits alt und benötigten sowieso in absehbarer Zeit eine Wartung.

Das SES-Netz (wichtigstes Netz der Tälder des Sopraceneri) gelangt bis in Höhenlagen von 2000 m ü. M., z.B. in die Ortschaft Bosco Gurin oder zu den Anlagen der Nara (für die Versorgung der Sessel- und Bügellifte). Da jedoch oberhalb von 1900 m ü. M. nur wenig Freileitungen bestehen (z.B. sind die höchstgelegenen Bereiche des Nara-Netzes unterirdisch), wird für die Berechnung der zukünftigen Szenarien die Änderung der Starkschneefälle bis 1900 m ü. M. berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5.6). Unter dem Szenario schwach wird von einer Abnahme der Kosten um 20 % und unter dem Szenario stark um 40 % ausgegangen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die Schätzungen der jährlichen Schadensummen, das Fehlen von spezifischen Datenreihen und das Fehlen von Daten kleiner Energieverteilerfirmen zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung der Starkschneefälle hinzu, wodurch mit einer **mittleren** Unsicherheit gerechnet werden muss.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Auch in diesem Fall haben Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen indirekte Konsequenzen auf die Erträge von Industrie und Dienstleistungen. Starkschneefälle (erhöhte Schneelasten) könnten z.B. dazu führen, dass Bäume auf Verkehrswege fallen, wodurch Dienstleistungen beeinträchtigt werden. Oder es könnten auch direkt Gebäude beschädigt werden. Starkschneefälle können zudem den Strassenverkehr beeinträchtigen (aufgrund schneebedeckter Fahrbahn), wodurch Transporte industrieller Güter unterbrochen oder verlangsamt werden. Dies verursacht Ertragseinbussen bei den betroffenen Firmen.

In Ortschaften im Berggebiet und in Tälern, wo vor allem Freileitungen vorzufinden sind und wo die Starkschneefälle in der Regel stärker ausfallen, kann es zu Stromunterbrüchen kommen (SES, P. Ceschi). Unterbrüche (im Mittel ca. 1 Stunde/Jahr) sind in der Regel für die Firmen irrelevant, sie können aber zu Ertragseinbussen bei den betroffenen Firmen führen.

In Zukunft könnten infolge der abnehmenden Starkschneefälle auch die Ertragseinbussen von Industrie und Dienstleistungen zurückgehen.

Starkschneefälle betreffen primär Ortschaften höherer Lagen, wo wenig Industrie- und Dienstleistungseinrichtungen bestehen. Ausserdem kommt es nur selten im ganzen Kantonsgebiet zu diesem meteorologischen Ereignis. Aus diesem Grund wertet die Arbeitsgruppe die Chance niedriger Ertragseinbussen aufgrund einer Abnahme der Starkschneefälle unter beiden zukünftigen Klimaszenarien als **deutlich geringer** im Vergleich der quantitativ ausgewerteten Chancen für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude aus.

Hochwasser

Quantiative Auswirkungen

Im Tessin verursachen Überschwemmungen des Luganersees und insbes. des Lago Maggiore bedeutende Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen in Gemeinden an Seeufern.

Materielle Schäden an Gebäuden

Hochwasser ist eine bedeutende Gefahr für die Gebäude des Tessins: Überschwemmungen, vor allem des Lago Maggiores können in der Tat sehr hohe Schäden hervorrufen. Die

Überschwemmungen der Seen in letzter Zeit (Beobachtungszeitraum 2001 - 2012) führten zu hohen Schäden an Gebäuden. Insgesamt wurden im Mittel pro Jahr Schäden in der Höhe von 5.8 Mio. Fr. registriert.

Wenn der Seepegel 1 m über dem Mittelwasser liegt, ist mit besonders hohen Schäden zu rechnen. Während den Überschwemmungen des Jahres 2000 – es zählt als Extremereignis - beliefen sich die Schäden an Gebäuden (berechnet aufgrund des Verhältnisses zwischen den Schäden an mobilen und immobilen Gütern zwischen 2001 und 2012) auf ca. 91 Mio. Fr.

Die zukünftigen Szenarien wurden auf der Basis der in Kapitel 4.5.8 beschriebenen zukünftigen Entwicklung von Hochwasser im Tessin berechnet. Unter dem Szenario schwach wird, im Vergleich zu heute, von keinen Änderungen ausgegangen. Unter dem Szenario stark ist hingegen mit einem Anstieg der Schäden um 40 % zu rechnen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Hochwasser verursachten Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung von Hochwasser hinzu, so dass sich insgesamt eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Was die mobilen Güter betrifft, wurden im Zeitraum 2001 – 2012 im Mittel Schäden in der Höhe von 3.6 Mio. Fr. pro Jahr registriert.

Infolge der Überschwemmungen des Jahres 2000 (Extremereignis) beliefen sich die Schäden an mobilen Gütern (berechnet aufgrund des Verhältnisses zwischen den Schäden an mobilen und immobilen Gütern zwischen 2001 und 2012) auf ca. 56 Mio. Fr.

Die zukünftigen Szenarien wurden auch hier auf der Basis der in Kapitel 4.5.8 beschriebenen zukünftigen Entwicklung von Hochwasser im Tessin berechnet. Unter dem Szenario schwach wird, im Vergleich zu heute, von keinen Änderungen ausgegangen. Unter dem Szenario stark ist hingegen mit einer Zunahme der Schäden um 40 % zu rechnen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Hochwasser verursachten Schäden je nach Jahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung von Hochwasser hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen

Im Tessin ereignen sich jedes Jahr zahlreiche Schäden an Kantons- und Nationalstrassen infolge von Naturgefahren, die durch Starkniederschläge ausgelöst werden. Da keine spezifischen Daten für die einzelnen Gefahren für Kantons- und Nationalstrassen vorhanden sind, werden diese auf der Basis der in Kapitel 5.5.1 aufgeführten prozentualen Anteile berechnet.

Im Mittel belaufen sich die Schäden an Kantonsstrassen infolge von Hochwasser auf ca. 1.9 Mio. Fr. (Mittelwert des Zeitraums 2001 - 2014), während die Schäden an Nationalstrassen ca. 100'000 Fr. betragen (Mittelwert des Zeitraums 2008 - 2014; USTRA, M. De Lorenzi).

Im Jahr 2001 wurden am meisten Schäden an Kantonsstrassen registriert. So führte die Gefahr Hochwasser allein in diesem Jahr zu Schäden in der Höhe von 3.1 Mio. Fr. Die grössten Schäden an Nationalstrassen sind hingegen auf das Jahr 2008 zurückzuführen. Die Schadensumme betrug damals 230‘000 Fr. Diese Jahre sind als hundertjährliche Ereignisse einzustufen.

Aufgrund fehlender Daten zu Schäden an Gemeindestrassen, werden diese relativ zum Verhältnis zwischen der Gesamtlänge der Gemeindestrassen und jener der Kantonsstrassen ermittelt. Es wird angenommen, dass die Kosten für die Gemeindestrassen 185 % der Gesamtkosten für Kantonsstrassen entsprechen (vgl. Kapitel 5.5.1). Insgesamt ergeben sich für das Tessiner Strassennetz Kosten von 5.4 Mio. Fr./Jahr und ca. 9 Mio. Fr. für ein Extremereignis.

Die Schäden unter den zukünftigen Szenarien basieren auf der Wiederkehrperiode von zukünftigen Hochwasserereignissen (vgl. Kapitel 4.5.8). Unter dem Szenario schwach sind keine Änderungen prognostiziert, während unter dem Szenario stark ein Anstieg der Kosten um 40 % angenommen wird.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die Schwankungen der durch Hochwasser verursachten Schäden in den verschiedenen Jahren, die Schätzung der Schäden für Gemeindestrassen und die gemeinsame Auswertung der Schäden unterschiedlicher Naturgefahren zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung von Hochwasser hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Schäden aufgrund von Überschwemmungen des Lago Maggiore und des Luganersees an Infrastrukturen und Gebäuden können hohe Kosten aufgrund von Ertragseinbussen in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen verursachen. Die Überschwemmung eines Sees kann z.B. Innenräume von Industriegebäuden beschädigen (durch Eindringen von Wasser in Kellerräume) und dadurch die Produktion stoppen. Das Vorhandensein von Wasser auf den Strassen und Gleisen könnte zudem, auch in diesem Fall, zur Unterbrechung von Verkehrwegen führen und den Güter- und Personenverkehr einschränken. Dadurch entstehen Verzögerungen und Unterbrüche im Industrie- und Dienstleistungssektor.

Durch die zukünftige Zunahme von Hochwasser und Überschwemmungen der Seen im Tessin, könnten auch die Ertragseinbussen von Industrie und Dienstleistungen aufgrund dieser Gefahr zunehmen.

Die Ertragseinbussen in diesen Sektoren aufgrund von Beschädigungen der Infrastruktur und Gebäuden infolge von Hochwasser können hohe Werte erreichen. Da die Überschwemmungen der grossen Seen die Städte Lugano und Locarno (Städte mit viel Industrie und Dienstleistungen) und deren Umgebung betreffen, wertet die Arbeitsgruppe dieses Risiko unter dem Szenario stark als **vergleichbar** mit den quantitativ ausgewerteten Risiken ein. Unter dem Szenario schwach wird das Risiko als **nicht relevant** eingestuft, da unter diesem Szenario keine Änderungen bezüglich der Häufigkeit von Hochwasser erwartet werden (vgl. Kapitel 4.5.8).

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Im Tessin verursacht die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure jedes Jahr Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen, insbesondere im Herbst. Diese Gefahr kann ausserdem die vorübergehende Sperrung von Strassen und hohe Kosten für die Räumung des Materials und die Sicherung des betroffenen Gebiets hervorrufen.

Quantiative Auswirkungen

Materielle Schäden an Gebäuden

Mittels der Analyse der Daten des Zeitraums 2001 - 2012 und anhand der in Kapitel 3.5 erläuterten Methode wird von einem jährlichen Erwartungswert der Schäden an Gebäuden infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure von ca. 940‘000 Fr. ausgegangen. Die Auswertung der Datenreihen mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden von ca. 5.5 Mio. Fr. entstehen.

Die Analyse der Daten unter Berücksichtigung der Änderungen der erwähnten Gefahr und den zukünftigen Szenarien (vgl. Kapitel 4.5.4) ergibt für die verschiedenen Wiederkehrperioden, dass die Kosten der Schäden an Gebäuden unter dem Szenario schwach um 3 % und unter dem Szenario stark um 36 % zunehmen werden.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der durch die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure verursachten Schäden je nach Jahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Die Schäden an mobilen Gütern weisen einen Erwartungswert von ca. 450‘000 Fr./Jahr auf. Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von 2.3 Mio. Fr. entstehen würden.

Die Änderung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure unter den verschiedenen Wiederkehrperioden werden in Kapitel 4.5.4 erläutert. Unter den zukünftigen Szenarien ist mit einer Zunahme der Schäden an mobilen Gütern um 4 % unter dem Szenario schwach und um 38 % unter dem Szenario stark auszugehen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der durch die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure verursachten Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen

Während der Referenzperiode (1980 - heute) bewirkte die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure am Tessiner-Eisenbahnnetz im Mittel ca. 75‘000 Fr. Schäden pro Jahr. Durch die Ähnlichkeit der Phänomene umfassen die Schäden durch Hangrutsche und Muren auch jene durch Flusshochwasser, die durch Starkniederschläge verursacht werden. Die Auswertung der Da-

tenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von 1.1 Mio. Fr. entstehen würden.

Auch die Strassen des Tessins sind von der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure betroffen. Unter Verwendung der Daten des ASTRA für alle Naturgefahren und der in Kapitel 5.5.1 aufgezeigten prozentualen Anteile, ist von einer jährlichen Schadenhöhe an Nationalstrassen infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure in der Höhe von 15‘000 Fr. auszugehen (ASTRA, M. De Lorenzi). Was die Kantonsstrassen betrifft, ist mit mittleren Schäden von ca. 290‘000 Fr./Jahr zu rechnen (Werte 2001 - 2014).

Im Jahr 2011 führten in Capolago Starkniederschläge zu Muren (Murgänge), welche viel Material auf der Fahrbahn ablagerten. Dieses Ereignis (für Nationalstrassen als hundertjährlich geltend) führte zu Schäden von ca. 1.4 Mio. Fr. und zur Schliessung der Autobahn während einer Nacht (rund 12 Stunden Unterbruch; ASTRA, M. De Lorenzi). Als Extremereignis für Kantonsstrassen gilt hingegen das Jahr 2001, wo Schäden von 500‘000 Fr. die höchste Summe des gesamten Beobachtungszeitraums ausmachen.

Unter der Annahme, dass die Kosten für die Gemeindestrassen ca. 185 % der Summe der Kosten bei Kantonsstrassen (vgl. Kapitel 5.5.1) ausmachen, wird somit insgesamt mit Kosten durch Schäden an Transportinfrastrukturen von 900‘000 Fr./Jahr und ca. 9 Mio. Fr. bei einem Extremereignis gerechnet.

Unter Berücksichtigung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure für die zukünftigen Klimaszenarien, kann davon ausgegangen werden, dass die Schäden an Transportinfrastrukturen unter dem Szenario schwach um 2 % und unter dem Szenario stark um 21 % zunehmen werden.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum (insbes. bei Nationalstrassen) und die relativ grossen Schwankungen der durch die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure verursachten Schäden je nach Jahr, das Fehlen von spezifischen Daten für die Gemeindestrassen und die gemeinsame Auswertung der Schäden für die verschiedenen Naturgefahren (für die Nationalstrassen) zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden am Stromverteilernetz

Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure kann zu grossen Schäden am Stromverteilernetz führen, und zwar sowohl bei Frei- als auch bei Erdleitungen.

Da ein Ereignis genügend gross sein muss, um Schäden zu verursachen, kann davon ausgegangen werden, dass im langjährigen Mittel die registrierten Schäden annäherungsweise gleich Null sind, während die Extremereignisse von Bedeutung sind.

Für die Firma SES (azienda elettrica sopracenerina) sind Muren und Ausuferungen von Flüssen die wichtigsten Naturgefahren. Starkniederschläge können in der Tat auch regional vorkommen und gleichzeitig zu grossen Schäden an verschiedenen Transfomatoren führen. Zum Beispiel können verschiedene Muren in den Tälern (vom selben Starkniederschlagsereignis verursacht) zu Schäden an verschiedenen Umspannstationen im selben Jahr führen (das Ersetzen einer Umspannstation kostet ca. 5 Mio. Fr).

Die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure kann ausserdem zu Schäden an Erdleitungen in potentiell instabilen Hängen führen. Die Mure (Murgang) in Davesco im Herbst 2014 hat die Erdleitung der AIL freigelegt, wodurch Wiederinstandsetzungsarbeiten erforderlich waren.

Bei genügend grossen Dimensionen der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure (Extremereignis) können Schäden von bis zu 16 Mio. Fr/Jahr am Stromverteilernetz verursacht werden.

Für die Berechnung der zukünftigen Szenarien wird davon ausgegangen, dass die zukünftigen Änderungen der Extremereignisse der erwähnten Gefahr (Wiederkehrperiode grösser als 10 Jahre) proportional zu den Schäden am Stromverteilernetz sind. Unter dem Szenario schwach wird eine Zunahme um 10 %, unter dem Szenario stark gar um 70 % erwartet (vgl. Kapitel 4.5.4).

Evakuierte

In von Muren, Erdrutschen und Hangmuren gefährdeten Gebieten kann in kritischen Perioden (Perioden mit anhaltenden Starkniederschlägen) die Evakuierung von Siedlungen notwendig sind. Während der Referenzperiode (1980 - 2009) sind gemäss den StorMe-Daten im Tessin insgesamt 113 Personen evakuiert worden. Die jährlich Kosten dieser Evakuierungen ergeben ca. 90'000 Fr.

Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 400‘000 Fr. entstehen würden.

Unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure (vgl. Kapitel 4.5.4), kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der evakuierten Personen unter dem Szenario schwach um 4 % und unter dem Szenario stark um 40 % steigen wird.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die Vollständigkeit der StorMe-Daten zu Evakuierten und den starken jährlichen Schwankungen dieser Gefahr zurückzuführen; sie ist als **gering** einzustufen. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung (Änderungen und Wiederkehrperioden) dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden infolge der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure können hohe Kosten aufgrund von Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor hervorrufen. Wie bei anderen Naturgefahren, könnte die Ablagerung von Schuttmaterial auf der Fahrbahn oder auf Gleisen beispielsweise den Personen- oder Güterverkehr einschränken, wodurch eine Verlangsamung oder Unterbrechung der Industrieproduktion resp. Dienstleistungen hervorgerufen wird. So kann z.B. ein Hangrutsch den Bahnverkehr im Gotthardgebiet unterbrechen, wodurch Kosten für die Organisation eines alternativen Transportmittels und Verspätungen induziert werden.

In Zukunft wird die Zunahme der Intensität und Häufigkeit der Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure auch zu vermehrten Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor infolge dieser Gefahr führen.

Die Ertragseinbussen der Industrie und Dienstleistungen infolge von Beschädigungen der Infrastrukturen und Gebäude durch die Gefahr Mure/Erdrutsch/Hangmure können relevante Beträge ergeben. Da diese Gefahr vor allem in Hängen mit grösseren Hangneigungen vorkommt, sind insgesamt nur wenige Industrien, Dienstleistungen und Verkehrswege betroffen. Die Arbeitsgruppe bewertet dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter beiden zukünftigen Klimaszenarien als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten.

Gewitter/Hagel

Quantiative Auswirkungen

Gewitter und Hagel können starke Schäden an mobilen und immobilen Gütern verursachen. Zum Beispiel kann Hagel die Karosserie von Autos beschädigen, ein Blitz kann indirekt und direkt Stromleitungen schädigen etc.

Materielle Schäden an Gebäuden

Der Erwartungswert der Schäden infolge von Gewitter und Hagel an Gebäuden beläuft sich im Tessin heute auf ca. 8 Mio. Fr./Jahr. Für den Kanton Tessin ist diese Gefahr somit sehr relevant.

Im Jahr 2007 kam es zu einem Extremereignis, das in den Kantonen Tessin, Schwyz und Bern insgesamt eine Schadensumme (mobile und immobile Güter) von fast 90 Mio. Fr. hervorrufte. Unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen der bebauten Fläche des Tessins und der bebauten Gesamtfläche der drei Kantone (26 %) und in Anbetracht des langjährigen mittleren Verhältnisses zwischen den Schäden an mobilen und immobilen Gütern, ergibt sich für dieses Extremereignis für den Kanton Tessin eine Schadensumme von insgesamt 21 Mio. Fr.

Eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Entwicklung der Häufigkeit und Intensität dieser Gefahr ist zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Unter den Szenarien schwach und stark wird somit davon ausgegangen, dass sich die Gefahr in Bezug zu heute nicht ändern wird. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.5.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Die materiellen Schäden an mobilen Gütern im Tessin infolge von Gewittern und Hagel belaufen sich auf ca. 610‘000 Fr./Jahr.

Das Extremereignis des Jahres 2007 wird auch für mobile Güter als hundertjährlich eingestuft. Unter Berücksichtigung der Fläche des Kantons Tessin im Vergleich zu den Kantonen Schwyz und Bern und des Verhältnisses zwischen den materiellen Schäden an mobilen und

immobilen Gütern, ist für das Tessin von einer Schadensumme in der Höhe von 1.9 Mio. Fr. auszugehen.

Eine zuverlässige Prognose bezüglich der zukünftigen Häufigkeit und Intensität dieser Gefahr ist zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Unter den Szenarien schwach und stark wird somit davon ausgegangen, dass sich die Gefahr in Bezug zu heute nicht ändern wird. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.5.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Gewitter und Hagel können aufgrund von Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden grosse Kosten und Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor herbeiführen. Gewitter können zum Beispiel Bäume entwurzeln, welche durch Umfallen Verkehrswege blockieren können. Dadurch kommt es zu Verzögerungen und Unterbrüchen der industriellen Produktion oder bei Dienstleistungen. Auch der Flugverkehr kann durch diese Gefahr beeinträchtigt werden (Verspätungen).

Ertragseinbussen im Sektor Industrie und Dienstleistungen infolge von Gewitter und Hagel können insbesondere für Transportfirmen beträchtliche Summen erreichen. Da die zukünftige Entwicklung der Gefahr nicht bekannt ist, ist es nicht möglich zu bestimmen, ob diese Ertragseinbussen in Zukunft zu- oder abnehmen.

Waldbrand

Qualitative Auswirkungen

Materielle Schäden an mobilen und immobilen Gütern und am Stromverteilernetz

Änderungen bezüglich der Häufigkeit und Intensität von Waldbränden führen zu Änderungen der materiellen Schäden an Gebäuden und den dazugehörigen Folgen (Produktionseinbussen der betroffenen Industrie und Dienstleistungen). Es sind zudem die Schäden an mobilen Gütern zu beachten (z.B. Fahrzeuge und Material der Feuerwehr) sowie die Freistromleitungen in Wäldern.

Durch die Zunahme von Waldbränden (unter beiden Klimaszenarien prognostiziert, vgl. Kapitel 4.5.11) könnte das Risiko für potentielle Schäden zunehmen.

Da diese Schäden insgesamt von sehr kleinem Ausmass sind, hat die Arbeitsgruppe entschieden, dieses Risiko als **nicht relevant** für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude einzustufen.

Hitzewellen

Qualitative Auswirkungen

Verformung des Strassenbelags

Besonders hohe Temperaturen können Verformungen des Strassenasphalts verursachen. Das Phänomen wird als „blow-up“ bezeichnet und ist auf die Ausdehnung der unter dem Asphalt liegenden Betonplatten zurückzuführen, welche die Strassenränder anheben.

Dieser Effekt kann sich im Bereich von Strassen bemerkbar machen, welche bereits einen beschädigten oder alten Belag aufweisen, wodurch die Verformung des Betons begünstigt wird. Im Tessin machen die Kosten für Reparaturen des Asphalts trotzdem nur einen kleinen Teil der jährlich anfallenden Kosten für den Strassenunterhalt aus (ASTRA, M. De Lorenzi). Ausserdem ist zu erwähnen, dass kürzlich renovierte Strassenbeläge mittels moderner Technik so bearbeitet wurden, dass Verformungen infolge von hohen Lufttemperaturen weniger rasch auftreten.

Nebst den Renovierungskosten von beschädigten Strassen müssen auch die Umstände in Zusammenhang mit Strassenbaustellen berücksichtigt werden.

Durch die prognostizierte Zunahme der Hitzewellen infolge des Klimawandels (vgl. Kapitel 4.5.12), ist es wahrscheinlich, dass in Zukunft diese Problematik zunehmen wird.

In Anbetracht dessen, dass die Renovierungskosten und die Dauer von Baustellen eher gering resp. kurz sind, und dass diese Schäden nur punktuell und nur bei extremer Hitze eintreten, hat die Arbeitsgruppe dieses Risiko unter beiden zukünftigen Klimaszenarien als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft.

Auftauen Permafrost

Qualitative Auswirkungen

Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden

Permafrost findet sich im Tessin hauptsächlich in Gebieten hoher Lagen (vgl. Kapitel 4.5.15). Das Auftauen des Permafrostes könnte direkt Schäden an Infrastruktur und Gebäuden, die sich in diesen Gebieten befinden, verursachen. Dies deshalb, da das Auftauen des Permafrosts die Statik der Gebäude und Infrastruktur beeinträchtigt. Diese Gefahr wird u.a. für touristische Infrastrukturen im Berggebiet (z.B. Skilifte, Berghütten) von Bedeutung sein. Im Tessin sind die wahrscheinlich einzigen gefährdeten Gebäude und Infrastrukturen, welche potentiell geschädigt werden könnten, jene der Skianlagen (Gebäude und Skilifte und Pisten) des Skigebiets Airolo sowie eine Berghütte beim Basodino.

Da im Tessin das Auftauen des Permafrosts insgesamt nur wenige Infrastrukturen und Gebäude gefährdet und da die Änderungen bezüglich des Auftauens des Permafrosts bis 2060 nicht zwangsläufig Schäden dieser Art bewirken, hat die Arbeitsgruppe dieses Risiko als **nicht relevant** im Vergleich der quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft. Die Schäden infolge von Rutschungen und Sturzprozessen aufgrund des Auftauens des Permafrosts werden in den Kapiteln Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz erläutert.

Steinschlag/Fels-/Bergsturz

Quantitative Auswirkungen

Materielle Schäden an Gebäuden

Die mittlere jährliche Schadensumme bei Gebäuden (Beobachtungszeitraum 2001 - 2012) infolge der Gefahr Steinschlag/Fels-/Bergsturz beläuft sich auf ca. 305‘000 Fr.

Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 0.9 Mio. Fr. entstehen würden.

Die zukünftigen Szenarien sind in Bezug auf eine Abnahme der Sturzprozesse (vgl. Kapitel 4.5.16) berechnet worden. Unter dem Szenario schwach ist somit von einer Abnahme um 10 % auszugehen, während und dem Szenario stark die Abnahme 20 % beträgt.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum (insbes. bezüglich der Wahl des Wertes eines Extremereignisses) und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Die mittlere jährliche Schadensumme bei mobilen Gütern (Beobachtungszeitraum 2011 - 2012) infolge der Gefahr Steinschlag/Fels-/Bergsturz beläuft sich auf ca. 135‘000 Fr.

Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 360‘000 Fr. entstehen würden.

Unter den zukünftigen Szenarien wird wiederum mit einer Abnahme der Schäden proportional zum Rückgang der Sturzprozesse gerechnet, wobei unter dem Szenario schwach von einer Abnahme um 10 % und unter dem Szenario stark von einer Abnahme um 20 % ausgegangen werden muss.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum (insbes. bezüglich der Wahl des Wertes eines Extremereignisses) und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen

Steinschlag, Fels- und Bergsturz sind die wichtigsten Gefahren im Tessin, die immer wieder zu Schäden am Eisenbahnnetz führen. Während der Referenzperiode (Datenverfügbarkeit ab 1980) wurden im Mittel pro Jahr Schäden von ca. 280‘000 Fr. registriert. Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 2.6 Mio. Fr. entstehen könnten.

Obwohl nur untergeordnet, können die erwähnten Gefahren auch zu Schäden an Kantons- und Nationalstrassen führen. Auf der Basis der in Kapitel 5.5.1 erläuterten prozentualen Anteile betragen die mittleren Schäden an Kantonsstrassen ca. 14‘000 Fr./Jahr (Analyse basiert auf den Werten des Zeitraums 2001 – 2014), während die Schäden an Nationalstras-

sen auf 7‘500 Fr./Jahr geschätzt werden (Analyse basiert auf den Werten des Zeitraums 2008 - 2014; USTRA, M. De Lorenzi).

Da in diesem Fall für eine Gumbel-Analyse zu wenige Daten zur Verfügung stehen, wird als Extremereignis für die Kantonsstrassen die höchste Schadensumme des Zeitraums 2001 - 2014 und für die Nationalstrassen jene des Zeitraums 2008 - 2014 bestimmt. Als Extremereignis gilt das Jahr 2001 für Kantonsstrassen und 2008 für Nationalstrassen. Die totale Schadensumme infolge von Extremereignissen (Kantons- und Nationalstrassen) beläuft sich auf 250‘000 Fr./Jahr.

Mangels Daten über Schäden an Gemeindestrassen wurden diese Schäden aufgrund des Verhältnisses zwischen der Gesamtlänge der Gemeindestrassen und den Kantonsstrassen (jeweils des Tessins) berechnet. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Kosten für die Gemeindestrassen 185 % der Gesamtkosten infolge von Schäden an Kantonsstrassen (vgl. Kapitel 5.5.1) betragen. Insgesamt ist bei Transportinfrastrukturen mit Kosten in der Höhe von 690‘000 Fr. pro Jahr und von 3.3 Mio. Fr. bei einem Extremereignis zu rechnen.

Die zukünftigen Szenarien sind unter Berücksichtigung der Abnahme der Sturzprozesse (vgl. Kapitel 4.5.16) berechnet worden. Unter dem Szenario schwach ist von einer Abnahme um 10 % auszugehen, während und dem Szenario stark die Abnahme 20 % beträgt.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum (insbes. bezüglich der Wahl des Wertes eines Extremereignisses), die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren und die Schätzung der Schäden an Gemeindestrassen zurückzuführen; sie wird als **gering** bewertet. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung (Intensität und Wiederkehrperiode) dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Materielle Schäden an Infrastrukturen zur Energieverteilung

Aufgrund von Gesprächen mit Fachexperten ergab sich, dass Schäden an Hochspannungsleitungen im Tessin äusserst selten sind. Der jährliche Schadenbetrag beläuft sich auf annähernd Null Fr. Im Falle eines Extremereignisses (z.B. der Felssturz von Preonzo im Jahr 2012) wird hingegen davon ausgegangen, dass die grossen Gesteinsmassen einige Strommasten niederreissen könnten. Unter der Vermutung, bei einem Extremereignis würden zwei Masten zerstört und das Ersetzten pro Mast Kosten von ca. 300‘000 Fr. verursacht, wären mit Kosten von 600‘000 Fr. zu rechnen (AET, F. Scerpella).

Da das Hochspannungsnetz nur im Fall von sehr grossen Ereignissen beeinträchtigt wird, kann davon ausgegangen werden, dass diese Schäden nur bei Fels- oder Bergstürzen verursacht werden. Analog wie in Kapitel 4.5.16 erläutert, wird davon ausgegangen, dass die Schäden infolge dieser Naturgefahren leicht zunehmen. Es wird somit geschätzt, dass die Schäden unter dem Szenario schwach um 5 % und unter dem Szenario stark um 10 % zunehmen.

Evakuierte

In von Fels- oder Bergstürzen gefährdeten Gebieten ist es während kritischen Perioden möglich, dass Siedlungen evakuiert werden müssen. Während der Referenzperiode (1980 - 2009) wurden im Tessin aufgrund dieser Naturgefahren nur 6 Personen evakuiert (alle im

Jahr 2001). Unter Anwendung der in Kapitel 3.5 erläuterten Methode, ergibt dies ein mittlerer Erwartungswert für Evakuierungskosten von annähernd Null.

Da in diesem Fall für eine Gumbel-Analyse zu wenige Daten zur Verfügung stehen, wurde das Jahr 2001 als Extremereignis bestimmt. Die Evakuierung von 6 Personen in einem Jahr wird mit 60'000 Fr monetarisiert.

Die zukünftigen Szenarien sind unter Berücksichtigung der Abnahme der Sturzprozesse (vgl. Kapitel 4.5.16) berechnet worden. Unter dem Szenario schwach ist von einer Abnahme um 10 % auszugehen, während beim Szenario stark die Abnahme 20 % beträgt.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die möglicherweise unvollständige Anzahl Evakuierter der StorMe-Datenbank und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen; sie wird als **gering** bewertet. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung dieser Gefahren hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor und Schäden an Schutzeinrichtungen

Steinschlag, Fels- und Bergsturz (Sturzprozesse) können auch Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden mit möglichen Folgen für die Erträge in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen bewirken. Die Ablagerung von Sturzmaterial auf Fahrbahnen und Gleisen könnte z.B. den Personen- oder Güterverkehr beeinträchtigen, wodurch negative Auswirkungen auf die Erträge von Industrie und Dienstleistungen hervorgerufen werden. Zum Beispiel können Sturzprozesse die Bahnlinie im Gotthardgebiet unterbrechen und Kosten für alternative Transportmittel sowie Verspätungen verursachen.

Durch die zukünftige Abnahme der Intensität und Häufigkeit von Sturzprozessen (wichtigste Gefahr für diese Schäden) könnten auch die Ertragseinbussen aufgrund dieser Gefahr zurückgehen.

Da Steinschlag, Fels- und Bergsturz primär in steilen Hängen auftreten (z.B. Talflanken), wo nur wenig Industrie und Dienstleistungseinrichtungen vorzufinden sind und da es sich generell um punktuelle Ereignisse handelt (treten selten gleichzeitig in zwei verschiedenen Gebieten auf), hat die Arbeitsgruppe entschieden, diese Chance unter beiden zukünftigen Klimaszenarien als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Chancen zu bewerten.

Veränderung Mitteltemperatur

Quantitative Auswirkungen

Kosten für den Winterdienst

Der Winterdienst auf den Tessiner Strassen umfasst alle technischen und organisatorischen Massnahmen zum Erhalt der Sicherheit sowie für die Gewährleistung des Verkehrs. Der Dienst umfasst insbesondere die Schneeräumung und das Beheben von Glatteis (durch Salz-, Sand- und Kiesstreuung), der Sicherheitsdienst vor Lawinen, die Eröffnung der Stras-

senpässe im Frühjahr (im Tessin: Gotthard- und Nufenenpass), die Eröffnung des Lukmanierpasses im Winter und die Strassenunterhaltsarbeiten am Winterende.

Pro Jahr belaufen sich die Kosten für den Winterdienst auf Kantonsstrassen im Tessin auf 6 Mio. Fr. (Mittelwert des Zeitraums 2000 - 2014). Ca. 4 Mio. Fr. sind auf die Schneeräumung, während 2 Mio. Fr. auf das Beheben von Glatteis zurückzuführen sind.

Für Nationalstrassen wurden im Zeitraum 2008 bis 2014 im Mittel 2.7 Mio. Fr./Jahr für den Winterdienst ausgegeben. Davon entfallen 1.3 Mio. Fr. auf die Schneeräumung und 1.4 Mio. Fr. auf die Eisräumung (USTRA, M. De Lorenzi).

In beiden Fällen sind die Fixkosten nicht berücksichtigt worden (z.B. Investitionen für Räumungsgeräte). Diese korrelieren nicht direkt mit den klimatischen Bedingungen einer Jahreszeit.

Wegen fehlender Daten bezüglich den Kosten für den Winterdienst auf Gemeindestrassen, wurden diese Kosten in Relation zum Verhältnis zwischen der Gesamtlänge der Gemeindestrassen und jener der Kantonsstrassen (jeweils des Tessins) berechnet. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Kosten für die Gemeindestrassen 185 % der Gesamtkosten infolge von Schäden an Kantonsstrassen (vgl. Kapitel 5.5.1) betragen. Insgesamt ist für alle Tessiner Strassen mit Kosten in der Höhe von 20 Mio. Fr. pro Jahr zu rechnen.

Da die Kosten für den Winterdienst eng mit der Anzahl Tage mit Temperaturen tiefer als 0°C korrelieren, basiert die Berechnung der zukünftigen Szenarien auf der Abnahme der Anzahl Frosttage in Biasca (vgl. Kapitel 4.4.2). Diese Tage sind sowohl für die Kosten zur Schneeräumung als auch zur Eisbeseitigung repräsentativ (die Änderung der Schneefälle würde die Kosten zur Eisbeseitigung nicht berücksichtigen). Gemäss MeteoSchweiz wird die Anzahl Frosttage um 43 % unter dem Szenario schwach und um 77 % unter dem Szenario stark abnehmen. In dieser Analyse wird somit von einer Abnahme der Kosten für den Winterdienst um 43 % unter dem Szenario schwach und um 77 % unter dem Szenario stark ausgegangen.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum (insbes. bezüglich der Wahl des Wertes eines Extremereignisses), die relativ grossen Schwankungen der Kosten (auch wenn nur wenig relevant) in den verschiedenen Jahren und die unsichere Schätzung der Schäden an Gemeindestrassen zurückzuführen; sie wird als **gering** bewertet. Bei den Projektionen in die Zukunft kommt zusätzlich die Unsicherheit der Beziehung zwischen den Kosten (nicht fix) für den Winterdienst und der Mitteltemperatur sowie die unsichere zukünftigen Entwicklung dieser Gefahr hinzu, woraus sich eine **mittlere** Unsicherheit ergibt.

Qualitative Auswirkungen

Verformung des Strassenbelags

Gefrieren und Tauen können zu Verformungen des Strassenbelags führen. Die Abnahme des Volumens infolge des Auftauens von Wasser in Zwischenräumen des Kieskoffers (unter dem Asphalt) kann zu Setzungen oder Brüchen im Strassenbelag führen.

Im Tessin waren beispielsweise im Frühjahr 2008 infolge von Eis im Bereich der Autobahn zwei Einsätze notwendig. Im ersten Fall, in Moleno/Lodrino, kam es zu Kosten für die Wiederinstandstellung des Strassenbelags in der Höhe von 0.4 Mio. Fr., während in Airo-

lo/Quinto im Frühjahr 2015 sich die Kosten auf ca. 0.8 Mio. Fr. beliefen. Es ist jedoch zu erwähnen, wie es bei enormer Hitze der Fall ist, dass die von dieser Problematik betroffenen Strassenabschnitte bereits beschädigt oder alt sind und sowieso bald renoviert werden müssten (ASTRA, M. De Lorenzi).

Die zuvor aufgezeigten Kosten machen nur einen kleinen Teil der jährlichen Wartungskosten von Strassen aus (1-2 %).

Nebst den Kosten zur Wiederinstandstellung von beschädigten Strassen muss in diesem Zusammenhang auch die Beeinträchtigung durch Strassenbaustellen berücksichtigt werden.

Durch die Abnahme der Frosttage im Tessin (vgl. Kapitel 4.4.2), ist es wahrscheinlich, dass sich in Zukunft diese Problematik weiter verringert.

Im Tessin sind die Schäden infolge von Frost bedeutender als jene aufgrund von Hitze (ASTRA, M. De Lorenzi). In Anbetracht dessen, dass die Kosten zur Wiederinstandstellung relativ gering ausfallen und dass diese Art von Schaden nur punktuell auftritt (bei der Autobahn an zwei Stellen innert acht Jahren) hat die Arbeitsgruppe entschieden, diese Chance, unter beiden zukünftigen Szenarien, im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten **geringer** einzustufen.

Sturm/Orkan

Quantitative Auswirkungen

Materielle Schäden an Gebäuden

Der Erwartungswert der Schäden infolge von Stürmen und Orkanen an Gebäuden beläuft sich auf 5.2 Mio. Fr./Jahr (Analyse über den Zeitraum 2001 – 2012).

Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem hundertjährlichen Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 15 Mio. Fr. entstehen könnten.

Eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Änderungen der Häufigkeit und Intensität der Gefahr Sturm/Orkan infolge des Klimawandels ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.5.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** bewertet.

Materielle Schäden an mobilen Gütern

Der jährliche Erwartungswert der Schäden infolge von Stürmen und Orkanen an mobilen Gütern beläuft sich auf 1.2 Mio. Fr. (Analyse des Zeitraums 2001 - 2012).

Die Auswertung der Datenreihe mittels Gumbel-Analyse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass bei einem hundertjährlichen Extremereignis Schäden in der Höhe von ca. 3.3 Mio. Fr. entstehen würden.

Eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Änderungen der Häufigkeit und Intensität der Gefahr Sturm/Orkan infolge des Klimawandels ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Um die möglichen Änderungen gleichwohl abzuschätzen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkung einer Zu- oder Abnahme der Gefahr um den Faktor 1.5 ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Totalbilanz der Risiken und Chancen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude. Die Resultate finden sich in Kapitel 5.5.4.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf den kurzen Beobachtungszeitraum und die relativ grossen Schwankungen der Schäden in den verschiedenen Jahren zurückzuführen. Sie wird als **gering** eingestuft.

Qualitative Auswirkungen

Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor

Die im Tessin durch Stürme und Orkane hervorgerufenen Schäden können hohe Kosten aufgrund von Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor verursachen. Analog zu hoher Schneelast, können auch starke Winde das Umfallen von Bäumen verursachen (Windwurf). Falls diese auf Strassen oder Gleise fallen, werden die Verkehrswege beeinträchtigt oder blockiert, wodurch die von den betroffenen Verkehrswegen abhängigen Firmen Ertragseinbussen hinnehmen müssen.

Diese Ertragseinbussen können ziemlich relevante Summen erreichen. Da die zukünftige Entwicklung von Stürmen und Orkanen nicht bekannt ist, ist es nicht möglich eine Zu- oder Abnahme der Kosten zu prognostizieren.

Wild Card

Materielle Schäden an Infrastrukturen zur Energieverteilung

Das Hochspannungsnetz ist gegenüber Naturgefahren sehr widerstandsfähig. Im Fall von Extremereignissen ist es jedoch möglich, dass es zu Schäden kommt. Zum Beispiel könnte ein Orkan zur Zerstörung von Strommasten führen, wodurch ein Stromunterbruch in mehreren Gebieten des Kantons eintreten kann.

Die indirekten Konsequenzen eines Unterbruchs sind vielschichtig und können auch äusserst relevant sein (können zu Beeinträchtigungen des Betriebs in den Industrie- und Dienstleistungssektoren führen).

Einige mögliche Konsequenzen ergeben sich aus dem Unterbruch der nachfolgenden Dienstleistungen, die auf die Stromversorgung angewiesen sind: Elektrische Beleuchtung, Küchen, Einrichtungen von Spitälern, Trinkwasserversorgung (Unterbruch der elektrischen Versorgung in Haushalten), Telefonverbindungen, Internet, öffentlicher Verkehr, Ampeln (Beeinträchtigung des Strassenverkehrs), Bankomaten, Kassen in Läden und in Tankstellen, Zapfsäulen (ohne Notstrom wäre es nicht möglich zu tanken) etc. (Alertswiss, 2015).

Wenn ein Sturm oder Orkan in einigen Gebieten des Tessins einen Stromunterbruch verursacht, wäre mit sehr bedeutenden Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor sowie Beeinträchtigungen für die Bevölkerung zu rechnen.

5.5.3. Quantitative Analyse

Die Details der Berechnungen des Erwartungswertes und der Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude sind in Anhang A5 ersichtlich, während die Details der Gumbel-Analyse für die Extremereignisse in Anhang A9 aufgeführt sind.

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 124 sind die Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die dazugehörenden Werte finden sich in Tabelle 63.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min	Mitt.	Max.	Max.	Mitt.	Max.
Schneelawinen									
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.05	-0.07	-0.09	-0.03	-0.06	-0.13	-0.03	-0.06	-0.12
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03
Evakuierte	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03
Starkschneefälle									
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.8	-1.0	-1.3	-0.4	-0.8	-1.6	-0.3	-0.6	-1.2
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.2	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1	-0.2
Materielle Schäden an Infrastrukturen zur Energieverteilung	-0.9	-1.1	-1.4	-0.4	-0.9	-1.7	-0.3	-0.6	-1.3
Hochwasser									
Materielle Schäden an Gebäuden	-4.7	-5.8	-7.6	-2.9	-5.8	-11.7	-4.1	-8.2	-16.4
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-2.9	-3.6	-4.7	-1.8	-3.6	-7.2	-2.5	-5.0	-10.0
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-4.3	-5.4	-7.0	-2.7	-5.4	-10.8	-3.8	-7.5	-15.1
Mure/Erdrutsch/Hangmure									
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.8	-0.9	-1.2	-0.5	-0.9	-1.9	-0.6	-1.3	-2.6
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.4	-0.4	-0.6	-0.2	-0.5	-0.9	-0.3	-0.6	-1.2
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-0.7	-0.9	-1.2	-0.47	-0.93	-1.87	-0.55	-1.11	-2.21
Evakuierte	-0.07	-0.09	-0.12	-0.05	-0.09	-0.19	-0.06	-0.13	-0.25
Gewitter/Hagel									
Materielle Schäden an Gebäuden	-6.4	-8.0	-10.4	-	-	-	-	-	-
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.5	-0.6	-0.8	-	-	-	-	-	-

Steinschlag/Fels-/Bergsturz									
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.24	-0.31	-0.40	-0.1	-0.3	-0.5	-0.1	-0.2	-0.5
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.11	-0.13	-0.17	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-0.55	-0.69	-0.90	-0.3	-0.6	-1.2	-0.3	-0.6	-1.1
Evakuierte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Veränderung Mitteltemperatur									
Kosten für den Winterdienst	-15.9	-19.8	-25.8	-5.7	-11.3	-22.7	-2.3	-4.6	-9.2
Sturm/Orkan									
Materielle Schäden an Gebäuden	-4.1	-5.2	-6.7	-	-	-	-	-	-
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-1.0	-1.2	-1.6	-	-	-	-	-	-
Bilanz	**-72**	**-56**	**-45**	**-86**	**-47**	**-26**	**-84**	**-46**	**-25**

Tabelle 63: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Es sind sowohl die heutigen Kosten/Erträge (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Gefahren/Effekte stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken und die blau markierten wurden mittels Sensitivitätsanalyse ausgewertet.***

Die Gefahr, die momentan am meisten Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden verursacht, ist das Hochwasser. Die vor allem unter dem Szenario stark prognostizierte Zunahme der Gefahr stellt ein bedeutendes Risiko für diesen Auswirkungsbereich dar. Die Schäden an Infrastrukturen und Gebäude durch Schneelawinen, Starkschneefälle, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz sind für diesen Auswirkungsbereich von untergeordneter Bedeutung.

Es ist gleichwohl zu erwähnen, dass auch die Gefahren Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan jährlich relevante Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden verursachen. Für diese beiden Gefahren ist jedoch die zukünftige Entwicklung ungewiss; Die möglichen Änderungen werden somit in Kapitel 5.5.4 mittels einer Sensitivitätsanalyse ausgewertet.

Eine wichtige Chance für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude ist die Abnahme der Kosten für den Winterstrassendienst (Rückgang wurde ohne Berücksichtigung der Fixkosten berechnet). Die Zunahme der Mitteltemperatur und die Abnahme von Neuschneetagen sowie von Frosttagen werden zu einem geringeren Bedarf dieses Dienstes führen.

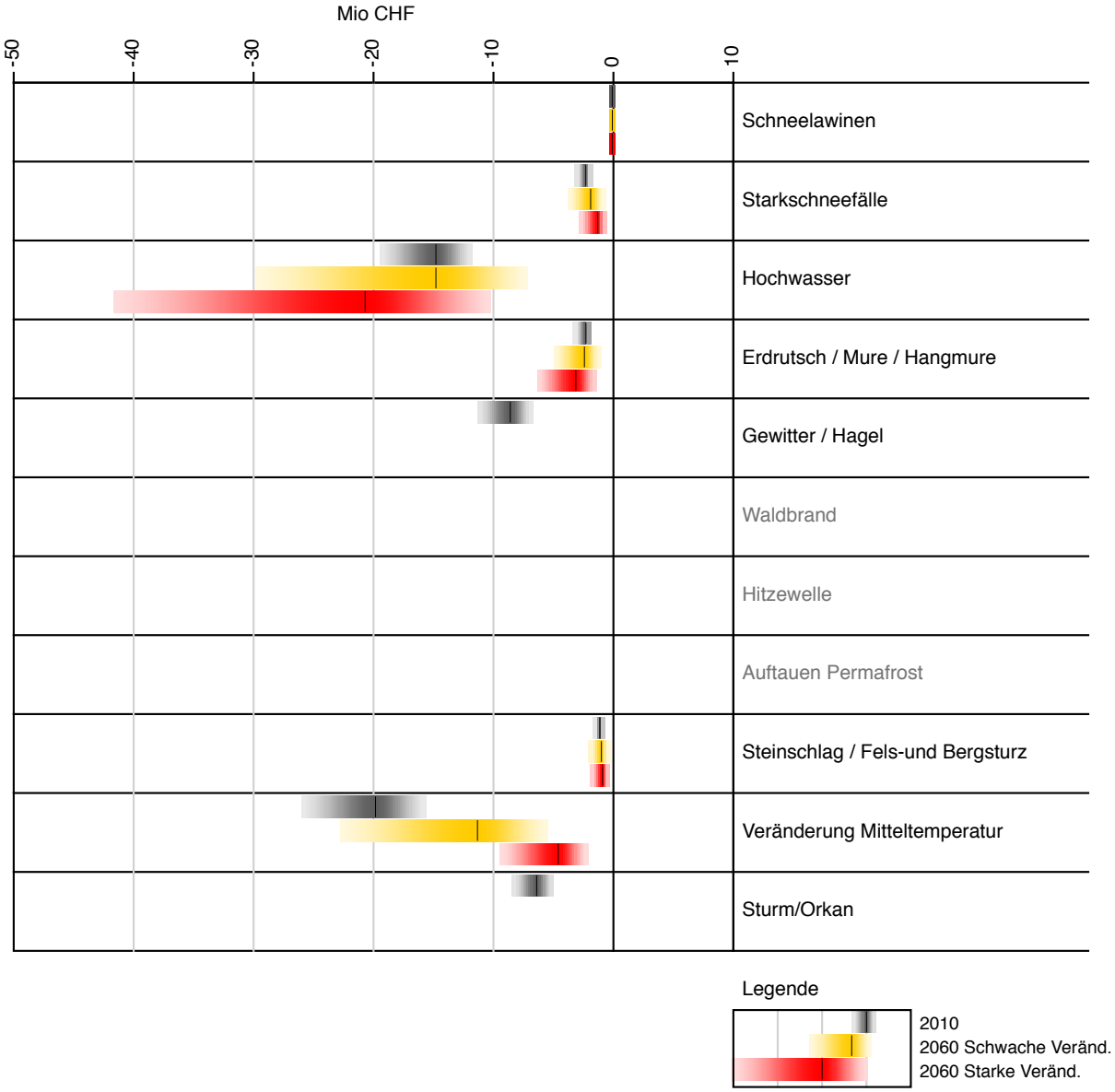


Abbildung 124: ***Kosten (negativ) und Erträge (positiv) jeder Gefahr oder jedes Effekts für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).***

Extremereignisse

In Abbildung 125 finden sich die Gesamtkosten, welche durch ein Extremereignis (jeder Gefahr/ jedes Effekts) beim Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude des Tessins entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

Ein hundertjährliches Hochwasser ist die Gefahr, die die grössten Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude verursacht. Überschwemmungen von Seen können in der Tat gleichzeitig grosse Bereiche des Kantons treffen (alle Gebiete in Ufernähe). Unter dem Szenario stark, wo eine Zunahme der Hochwasserereignisse prognostiziert wird, kann ein Extremereignis Kosten von über 250 Mio. Fr. pro Jahr hervorrufen.

Die Extremereignisse aller übrigen Gefahren/Effekte verursachen unter allen analysierten Szenarien Kosten oder Ertragseinbussen von weniger als 50 Mio. Fr./Extremjahr.

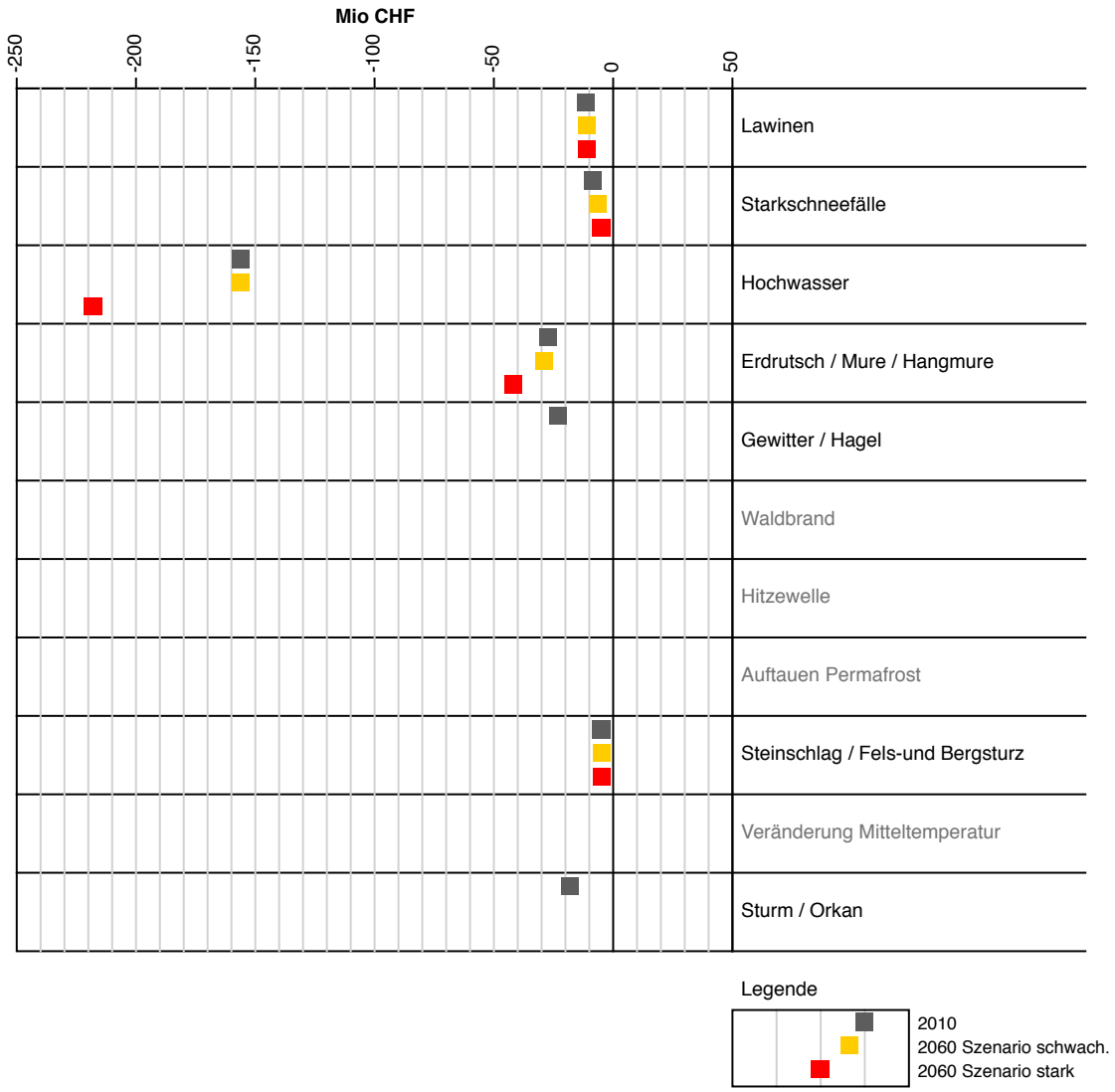


Abbildung 125: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für jede Gefahr oder jeden Effekt im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter den Szenarien schwach und stark.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

In Abbildung 126 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude dargestellt.

In der Grafik der Risiken wurden die Kosten derjenigen Naturgefahren berücksichtigt, die in Zukunft zunehmen werden (Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure und Steinschlag/Fels-/Bergsturz). Im Mittel ist mit einem Anstieg der Kosten in der Höhe von 37‘000 Fr./Jahr unter dem Szenario schwach und ca. 7 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario stark zu rechnen.

Die Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude sind primär auf die Abnahme der Kosten für den Winterstrassendienst zurückzuführen. Die Abnahme der Schäden infolge von Naturgefahren, die in Zukunft abnehmen (Schneelawi-

nen, Starkschneefälle und Steinschlag/Fels-/Bergsturz), spielen hingegen eine untergeordnete Rolle. Die Kosten werden im Mittel um ca. 9 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario schwach und um ca. 16 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario stark abnehmen.

Die Totalbilanz (vgl. Abbildung 126, unten) zeigt, dass der Klimawandel vermutlich insgesamt einen positiven Effekt auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude ausübt.

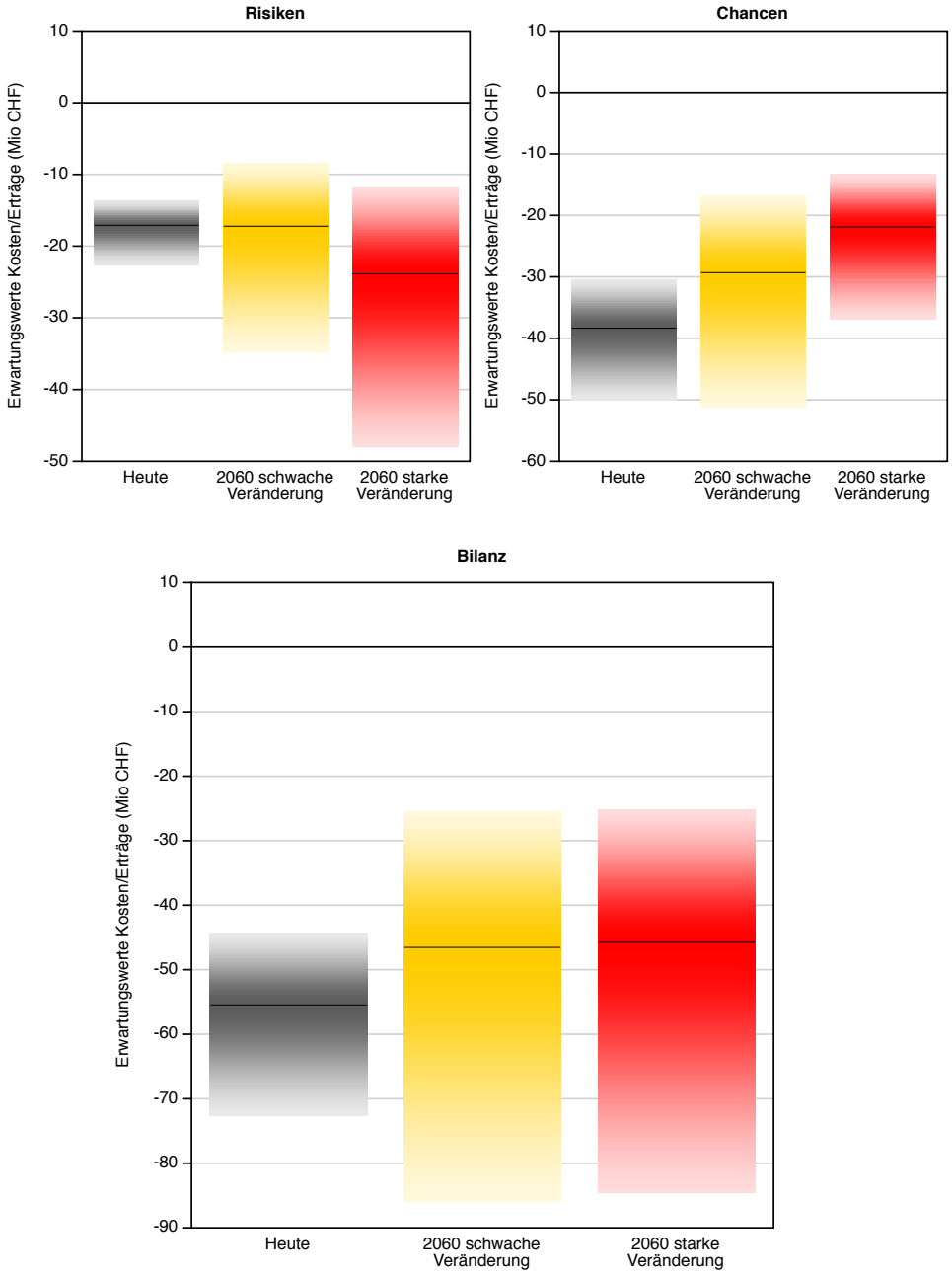


Abbildung 126: ***Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Kosten entsprechen den negativen Werten, die Erträge den positiven. Risiken repräsentieren eine Zunahme der Kosten und Chancen eine Abnahme. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Die Abbildung zeigt den Erwartungswert und die entsprechenden Unsicherheiten.***

5.5.4. Sensitivitätsanalyse

Eine zuverlässige Prognose der Gefahren/Effekte Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan unter den Szenarien schwach und stark ist nicht möglich. In den nachfolgenden Tabellen finden sich die Differenz zwischen der Totalbilanz der Szenarien schwach und stark und dem Referenzszenario in Relation zu möglichen Änderungen der Häufigkeit der Gefahren/Effekte Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan. Die Auswertung entspricht einer Sensitivitätsanalyse. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich die Bilanz für das Referenzszenario (Erträge abzüglich Kosten) im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude auf Kosten in der Höhe von rund 56 Mio. Fr. beläuft.

Szenario SCHWACH		**Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel**		
		0.67	1	1.5
Änderung der Häufigkeit von Sturm/Orkan	0.67	14.0	11.2	6.8
	1	11.9	9.0	4.7
	1.5	8.7	5.8	1.5

Tabelle 64: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Infrastrukturen und Gebäude zwischen dem Szenario schwach und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Szenario STARK		**Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel**		
		0.67	1	1.5
Änderung der Häufigkeit von Sturm/Orkan	0.67	14.7	11.8	7.5
	1	12.6	9.7	5.4
	1.5	19.0	6.5	2.2

Tabelle 65: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Infrastrukturen und Gebäude zwischen dem Szenario stark und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel und Sturm/Orkan (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Generell kann festgestellt werden, dass Gewitter/Hagel eine grössere Auswirkung auf die Kosten ausüben als Sturm/Orkan.

Eine Zunahme von beiden Gefahren könnte für die Infrastrukturen und Gebäude zu einem relativ bedeutenden Anstieg der Kosten führen. Unter dem Szenario schwach könnte dieser bis zu 16 % betragen. Unter dem Szenario stark ist von einem Anstieg der Kosten von bis zu 77 % zu rechnen.

Die Abnahme der erwähnten Gefahren könnte einen Rückgang von bis zu 11 % der Kosten unter dem Szenario schwach bewirken. Unter dem Szenario stark wird mit einer Abnahme der Kosten von bis zu 51 % zu rechnen sein.

5.5.5. Qualitative Analyse

In Abbildung 127 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

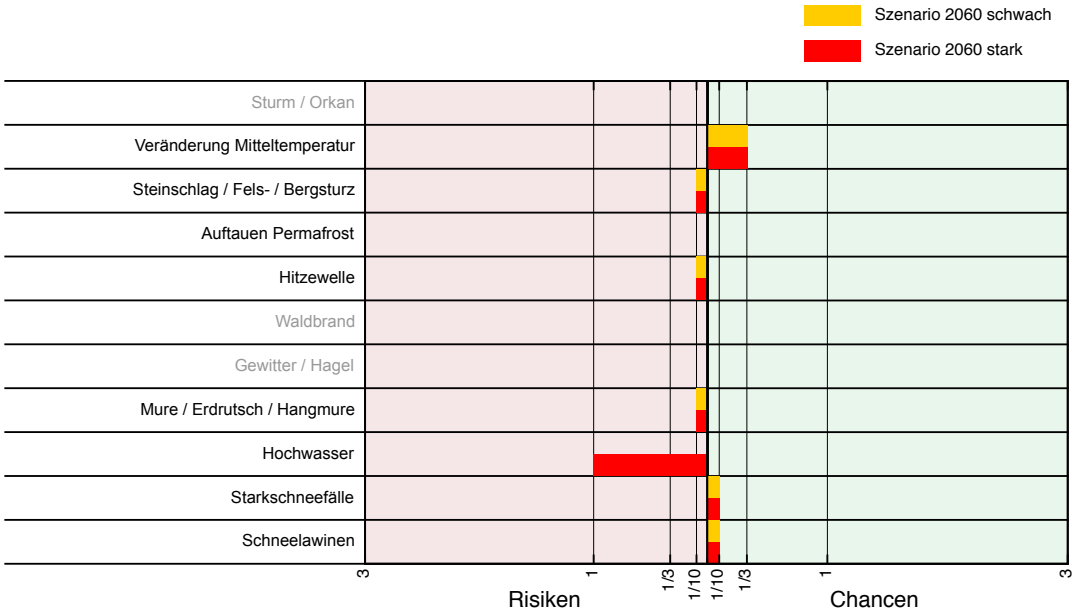


Abbildung 127: ***Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz der qualitativ ausgewerteten Auswirkungen zeigt, dass die Chancen (primär aufgrund der Abnahme der Schäden durch Frost und der Abnahme von Ertragseinbussen im Industrie- und Dienstleistungssektor aufgrund von Lawinen und Starkschneefällen) einen **geringeren** Einfluss haben als die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen. Die Risiken (primär aufgrund der Zunahme der Ertragseinbussen und Unterbrüche von Verkehrsverbindungen infolge von Hochwasser) haben einen **vergleichbaren** (Szenario stark) Einfluss gegenüber den quantitativ ausgewerteten Risiken.

In Tabelle 66 finden sich die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude monetarisiert wurden.

Auswirkungsbereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Infrastrukturen und Gebäude	-0.02	5	-10	9

Tabelle 66: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude unter den Szenarien schwach und stark.***

5.5.6. Sozioökonomisches Szenario 2060

Wert von Gebäuden und mobilen Gütern

Durch die Zunahme der Anzahl Gebäude und Infrastrukturen im Tessin und ihrer Werte ist es wahrscheinlich, dass auch die Schäden in diesem Auswirkungsbereich durch Gefahren oder Effekte zunehmen.

Wie bereits für die sozioökonomischen Szenarien erwähnt (vgl. Kapitel 4.6), ist im Tessin bis im Jahr 2060 mit einem Bevölkerungswachstum von 14.2 % und einer Zunahme der bebauten Fläche um 6 % zu rechnen.

Als Konsequenz dieses Anstiegs wird es zu einer Zunahme der Anzahl Gebäude und mobiler Güter, zusammen mit einem Anstieg ihres Marktpreises, kommen. Insgesamt wird geschätzt, dass der Wert von jedem mobilen Gut und Gebäude bis im Jahr 2060 um 30 % höher liegt als heute (vgl. Kapitel 4.6).

Die Zunahme der bebauten Fläche des Tessins infolge des Bevölkerungswachstums und der hohen beteiligten Interessenten wird dazu führen, dass vermehrt in Gebieten gebaut wird, die durch Naturgefahren gefährdet sind. In Zukunft wird somit von einer Zunahme der Schäden ausgegangen, welche bei extremen meteorologischen Bedingungen und Naturgefahren an Gebäuden und Wohnungen entstehen können. Das Problem ist dabei nicht der geologische Untergrund an sich, sondern die Bautätigkeit in gefährdeten Gebieten. Insgesamt kann von einem Anstieg der Schäden infolge von Naturgefahren in bebauten Gebieten (inkl. evakuierte Personen) um 1.5 % ausgegangen werden.

Wert der Transportinfrastrukturen

Die Zunahme des Werts und der Anzahl von Transportinfrastrukturen könnte zu einem Anstieg der Schäden durch Naturgefahren führen. Gemäss dem sozioökonomischen Szenario (vgl. Kapitel 4.6) wird vermutet, dass bis im Jahr 2060 der Wert aller Transportinfrastrukturen um 15 % ansteigt.

Regulierung der Seepegel

Wie in Kapitel 5.2.5 erläutert, kann durch eine Optimierung der Regulierungen des Lago Maggiore und des Luganersees sowie mittels einer Erneuerung der Miorina-Stauanlage (Italien) ein Rückgang der Überschwemmungen dieser Seen um 12 % erreicht werden.

Stromverteilernetz

Die Erneuerung der heutigen Freileitungen sieht vor, diese in Zukunft durch Erdleitungen zu ersetzen (Erdverlegung von Freileitungen). Generell wird eine neue Kabelverlegung nur dann vorgenommen, falls eine Erneuerung der bestehenden wirklich notwendig ist. Ausserdem wird zuerst das Kosten/Nutzen-Verhältnis abgeklärt. Die Ersetzung des ganzen Stromverteilernetzes wird somit lange Zeit in Anspruch nehmen (SES, P. Ceschi).

Gemäss dem kantonalen Energieplan (DT/DFE, 2010) wird die Erdverlegung des Stromnetzes zu einer Abnahme des Energieverlustes von heute 5 % auf 3 % bis im Jahr 2050 führen. Aufgrund dieser Entwicklung kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl Freileitungen bis ins Jahr 2060 um rund 40 % abnehmen wird.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Infrastrukturen zur Energieverteilung proportional zur bebauten Fläche zunehmen werden (Zunahme um 6 % zwischen 2010 und 2060).

Winterstrassendienst

In den letzten Jahren wurde eine Abnahme der Kosten für den Winterstrassendienst festgestellt, dies dank der Entwicklung neuer effizienterer Technologien. In Zukunft (Zeithorizont 2060) kann davon ausgegangen werden, dass neue Technologien eine weitere Reduktion der Kosten um 10 % bewirken.

Die Unsicherheit unter dem sozioökonomischen Szenario für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude wird als **mittel** eingestuft.

Sozioökonomisches Szenario Infrastrukturen und Gebäude

Das sozioökonomische Szenario des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude zeigt, dass in Zukunft (ohne Berücksichtigung der Änderungen infolge des Klimawandels) die Kosten deutlich zunehmen werden (vgl. ***Tabelle 67*** und Abbildung 128). Die Zunahme beruht primär auf dem Anstieg der Anzahl Infrastrukturen und Gebäude infolge des Bevölkerungswachstums.

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Schneelawinen							
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.05	-0.07	-0.09	1.32	-0.04	-0.09	-0.18
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.01	-0.02	-0.02	1.32	-0.01	-0.02	-0.05
Evakuierte	-0.01	-0.01	-0.02	1.02	-0.01	-0.01	-0.03
Starkschneefälle							
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.8	-1.0	-1.3	1.32	-0.7	-1.4	-2.7
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.2	-0.2	-0.3	1.32	-0.1	-0.3	-0.5
Materielle Schäden an Infrastrukturen zur Energieverteilung	-0.9	-1.1	-1.4	0.64	-0.3	-0.7	-1.4
Hochwasser							
Materielle Schäden an Gebäuden	-4.7	-5.8	-7.6	1.16	-3.4	-6.8	-13.6
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-2.9	-3.6	-4.7	1.16	-2.1	-4.2	-8.3
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-4.3	-5.4	-7.0	1.01	-2.7	-5.5	-10.9
Mure/Erdrutsch/Hangmure							
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.8	-0.9	-1.2	1.32	-0.6	-1.2	-2.5
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.4	-0.4	-0.6	1.32	-0.3	-0.6	-1.2
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-0.7	-0.9	-1.2	1.15	-0.5	-1.1	-2.1

Evakuierte	-0.07	-0.09	-0.12	1.02	-0.05	-0.09	-0.18
Gewitter/Hagel							
Materielle Schäden an Gebäuden	-6.4	-8.0	-10.4	1.32	-5	-11	-21
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.5	-0.6	-0.8	1.32	-0.4	-0.8	-1.6
Steinschlag/Fels-/Bergsturz							
Materielle Schäden an Gebäuden	-0.24	-0.31	-0.40	1.32	-0.20	-0.40	-0.81
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-0.11	-0.13	-0.17	1.32	-0.09	-0.18	-0.35
Materielle Schäden an Transportinfrastrukturen	-0.55	-0.69	-0.90	1.15	-0.40	-0.80	-1.59
Evakuierte	-0.002	-0.002	-0.003	1.02	-0.001	-0.002	-0.004
Veränderung Mitteltemperatur							
Kosten für den Winterdienst	-15.9	-19.8	-25.8	1.05	-10	-21	-41
Sturm/Orkan							
Materielle Schäden an Gebäuden	-4.1	-5.2	-6.7	1.3	-3	-7	-14
Materielle Schäden an mobilen Gütern	-1.0	-1.2	-1.6	1.3	-1	-2	-3
Total	**-72**	**-56**	**-45**	**-**	**-128**	**-64**	**-32**

Tabelle 67: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

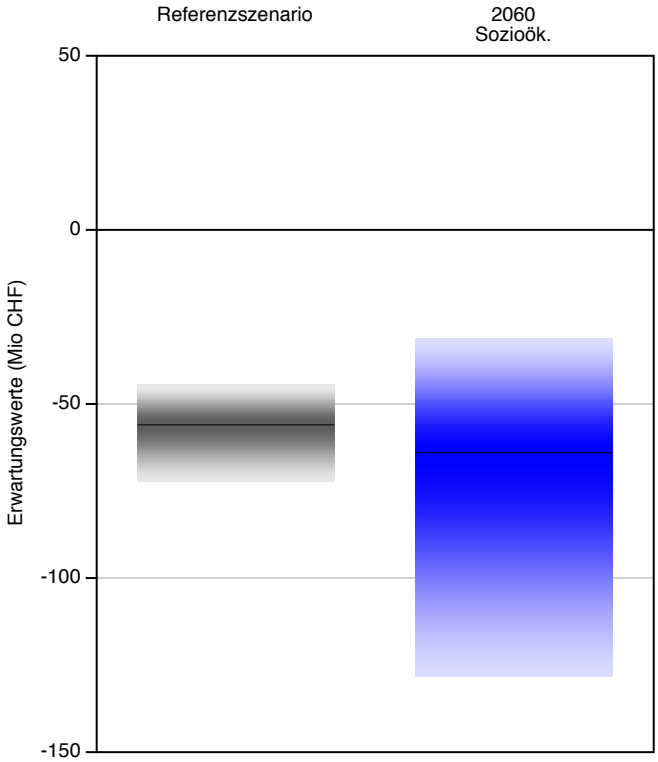


Abbildung 128: Grafische Darstellung der heutigen Kosten/Erträge und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.

Ein Vergleich der erwarteten Änderungen des sozioökonomischen Szenarios mit jenen der Klimaszenarien deutet darauf hin, dass für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude die zukünftige sozioökonomische Entwicklung einen annähernd gleichbedeutenden Einflussauf die Kosten und Erträge des Klimawandels hat, jedoch in entgegengesetzter Richtung (negativ statt positiv).

5.5.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude hat bedeutende Risiken und Chancen gezeigt. Die Risiken des Klimawandels erweisen sich als **gering** unter dem Szenario schwach (Kosten von wenigen Zehntausend Franken pro Jahr) und **negativ** unter dem Szenario stark (Kosten von ca. 17 Mio. Fr./Jahr). Die Chancen sind hingegen erheblich **positiv** sowohl unter dem Szenario schwach als auch unter dem Szenario stark (Erträge von ca. 14 Mio. Fr./Jahr resp. 25 Mio. Fr./Jahr). Insgesamt erwiesen sich die Auswirkungen **positiv** unter dem Szenario schwach (Erträge von ca. 14 Mio. Fr./Jahr) und **leicht positiv** unter dem Szenario stark (Erträge von ca. 8 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1). Die Totalbilanz unter dem Szenario stark erweist sich aufgrund der grossen Risiken – nur in diesem vorhanden – in Zusammenhang der bis 2060 erwarteten Zunahme von Hochwasserereignissen als weniger positiv als jene unter dem Szenario schwach.

Die sozioökonomischen Auswirkungen werden hingegen als **leicht negativ** gewertet (Kosten von ca. 8 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.6. WASSERWIRTSCHAFT

5.6.1. Wichtigste Parameter: aktuelle Situation

Fliessgewässer und Seen

Im Tessin gibt es insgesamt rund 140 stehende Gewässer, welche wie folgt unterteilt werden können: Zwei grosse Seen (Lago Maggiore und Luganersee), die Seen von Origlio, Muzzano und Astano, die Stauseen zur Stromproduktion und die natürlichen alpinen Seen (SPAAS, 2003).

Die meisten Fliessgewässer weisen ein äusserst variables Abflussregime auf, und zwar über das ganze Jahr. Die Wasserqualität ist im Sopraceneri insgesamt besser als im Sottoceneri. Die geringere Qualität im Sottoceneri ist auf die relativ hohe Bevölkerungsdichte, die vielen Industriestandorte, den geringeren Zufluss der Vorfluter im Vergleich zum Abfluss, sowie die beschränkte Ökomorphologie zurückzuführen. So weisen die Flüsse Scairolo, Vedeggio, Faloppia, Roncaglia, Breggia und Laveggio höhere Konzentrationen an Ammonium, Nitrit und Phosphor auf als die Fliessgewässer des Sopraceneri.

Wasserversorgung

Das Tessiner-Trinkwasser stammt zum grössten Teil aus Quell- und Grundwasser. Fluss- und Seewasser spielen diesbezüglich eine untergeordnete Rolle (vgl. Abbildung 129). Letztere beiden werden jedoch für Gemeinden in Ufernähe, in denen wenig Quellen liegen, immer wichtiger. Die Grundwasserleiter und in wenigen Fällen auch die Seen werden teilweise zusätzlich als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt.

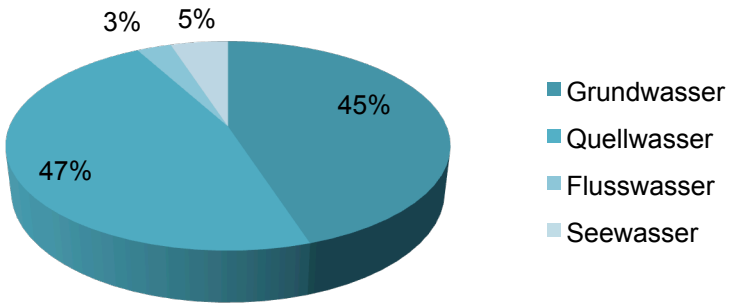


Abbildung 129: Herkunft des Trinkwassers im Tessin (SPAAS, 2015).

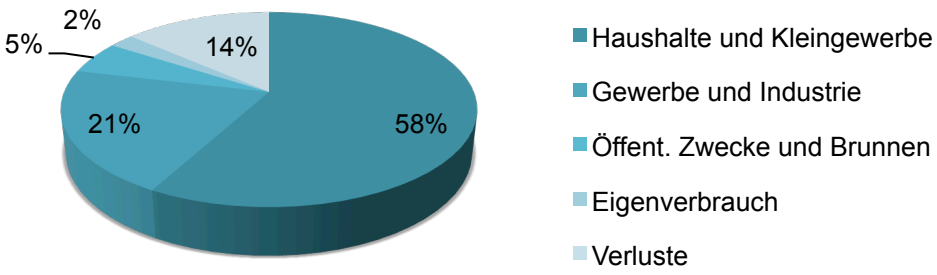


Abbildung 130: Verteilung der Trinkwasserversorgung in der Schweiz im Jahr 2001 (SPAAS, 2015).

Der grösste Teil der Wasserversorgung (ca. 60 %) geht an die Haushalte und an das Kleingewerbe und ein kleiner Teil (ca. 20 %) geht an Gewerbe und Industrie.

In der Schweiz kostet Trinkwasser im Mittel ca. 2 Fr. pro Kubikmeter. Obwohl im Tessin der Trinkwasserpreis tiefer als das schweizerische Mittel ist (ca. 1.2 Fr./m^3), hat die Arbeitsgruppe entschieden, um den Vergleich mit anderen Fallstudien zu vereinfachen, mit einem Trinkwasserpreis von 2 Fr./m^3 zu rechen.

Im Tessin lag während den vergangenen Jahren der Trinkwasserbedarf pro Kopf höher als der schweizweite Durchschnitt. Gründe dafür könnten die hohe Anzahl Touristen, der relativ grosse Anteil von nicht im Tessin wohnhaften Arbeitnehmern sowie die höheren Jahresmitteltemperaturen sein. Generell wird von einem um ca. 15 % höheren Trinkwasserverbrauch im Vergleich zur restlichen Schweiz ausgegangen. Auf den Daten des Jahres 2013 basierend ergibt sich fürs Tessin ein mittlerer Wasserverbrauch/Monat/Kopf in der Höhe von 10'670 Litern (SVGW, 2014).

Abwasserreinigung

Das Wasserentsorgungssystem des Tessins verläuft primär über Kanalisationen. Das Wasser wird mittels Kläranlagen gereinigt und in der Folge in die Fliessgewässer und Seen zurückgeführt. Im Tessin gibt es insgesamt 10 Kläranlagen von Bezirken und 17 Kläranlagen von Gemeinden. Diese Anlagen behandeln rund 77.6 Mio. m^3 Abwasser pro Jahr (Stand 2014) (Repubblica e Cantone Ticino, 2015).

Trink- und Abwasserinfrastruktur

Momentan existieren keine kantonsspezifischen Informationen bezüglich der Netze der Wasserver- und –entsorgung. Der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) besitzt entsprechende Daten, welche auf die gesamte Schweiz bezogen sind.

Wenn diese Daten auf den Kanton Tessin übertragen werden, ist es wichtig, die speziellen geomorphologischen Eigenschaften des Kantons zu berücksichtigen. Ein grosser Teil der bebauten Fläche liegt an z.T. steilen Hängen. Dort liegen die Kosten der Trink- und Abwasserinfrastruktur deutlich höher als in flachen Gebieten. Generell ist in Gebirgsregionen mit Mehrkosten von rund 25 % zu rechnen (SVGW, M. Freiburghaus).

Basierend auf dem Verhältnis der Einwohnerzahl des Tessin gegenüber der Schweiz (Domeniconi, 2015) sowie der gesamten in Gebirgsregionen bebauten Fläche, können die in Tabelle 68 aufgezeigten Werte für die Tessiner Trink- und Abwasserinfrastruktur hergeleitet werden (Sezione dello sviluppo territoriale, 2006).

Die für die Trink- und Abwasserinfrastruktur anfallenden Mehrkosten in Gebirgsregionen werden in Relation zur bebauten Fläche hergeleitet und nicht zur Anzahl Einwohner (diese läge bei 4.6 %). Dadurch wird ein repräsentativerer Wert erzielt.

Die in Tabelle 68 dargestellten Werte für die Trink- und Abwasserinfrastruktur finden sich in den Jahresbilanzen 2013 und 2014 der „aziende industrializzate di Lugano“ (AIL) wieder. Diese versorgen heute rund 20 % der Tessiner Bevölkerung.

	Wasserversorgung	Wasserentsorgung	Total
Länge der Wasserleitungen (km)	3'424	5'469	8'893
Wiederbeschaffungswert (in Mio. Fr.)	2'031	3'457	5'488
Jährliche Betriebskosten (in Mio. Fr.)	66	95	161
Jährliche Investitionen (in Mio. Fr.)	38	35	73

Tabelle 68: Länge der Trinkwasserleitungen (Wasserversorgung) und Abwasserleitungen (Wasserentsorgung) im Tessin und dazu gehörende Kosten.

5.6.2. Gefahren und Effekte 2060

Auf der Basis der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) werden für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft folgende Gefahren und Effekte ausgewertet: Gewitter/Hagel, Änderung im Niederschlagsregime, Allgemeine Trockenheit, Hitzewelle und Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher.

Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 69. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ). Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft ist in Abbildung 131 ersichtlich.

Wie aus der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel des Bundes hervorgeht (BAFU, 2012), sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft vielfältig und betreffen verschiedene Bereiche. Auf die Auswirkungen des Klimawandels auf diese Bereiche wird sowohl in folgendem als auch in Kapiteln anderer Auswirkungsbereiche eingegangen.

Besonders wichtig sind nachfolgende Handlungsfelder:

- **Trinkwasser**
  In diesem Kapitel (Wasserwirtschaft) wurden in erster Linie die Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft behandelt, mit speziellem Fokus auf die Trinkwasserqualität, den Trinkwasserbedarf und die Abwasserentsorgung.
- **Kanalisation, Strassenentwässerung**
  Naturgefahren können in bebauten Gebieten zu Schäden an Wasserversorgungs- und Entsorgungsleitungen führen (Kanalisation, Kläranlagen etc.). Auf diese Schäden wird im Kapitel Wasserwirtschaft (dieses Kapitel) eingegangen.
- **Kühlung thermischer Kraftwerke, übrige Wärmeeinleitung in Gewässer:** Im Tessin existieren keine grossen thermischen Kraftwerke zum Kühlen. Die anderen Wärmeimmissionen beschränken sich auf ein kleines Industriewassernetz der AIL, das zur Kühlung von Computern des Swiss National Supercomputing Centre (Centro Svizzero di Calcolo Scientifico, CSCS) genutzt wird sowie auf die gespeicherte Wärme im gereinigten Wasser des Consorzio Depurazione Acque Lugano e Dintorni (CDALED). Auf diese Thematik wird somit nicht weiter eingegangen.
- **Internationale Ansprüche, Seeregulierung**
  Die Problematik betrifft primär den Lago Maggiore, dessen Regulierung während Hochwasser und Trockenperioden besonders problematisch ist. Dies aufgrund der verschiedenen involvierten Parteien, sowohl innerhalb der Schweiz als auch auf italienischem Territorium. Auf den Zusammenhang dieser Problematik mit dem Klimawandel wird im entsprechenden Kapitel des Auswirkungsbereichs Wasserwirtschaft (dieses Kapitel) eingegangen.
- **Speicherseen**
  Auf die hydroelektrische Stromproduktion wird im Auswirkungsbereich Energie eingegangen. Was die Wasserwirtschaft betrifft, müssen auch die internationalen Ansprüche berücksichtigt werden.

- **Restwasser**
  Die Entwicklung der aquatischen Flora und Fauna, welche die Qualität des Trinkwassers nicht beeinflusst, wird im Auswirkungsbereich Biodiversität erläutert.
- **Bewässerung**
  Das Thema Bewässerung in Zusammenhang mit Wasserknappheit wird quantitativ im Auswirkungsbereich Landwirtschaft erläutert. Generell wird in Zukunft während diesen Perioden die Verfügbarkeit von Wasser ein Konfliktthema sein.

Die zahlreichen Felder der Wasserwirtschaft bringen die Entstehung von Konflikten zwischen den verschiedenen Verbrauchern der Wasserressourcen mit sich. Die Entwicklung dieser Konflikte infolge des Klimawandels wird in diesem Kapitel erläutert.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 69 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder und Massnahmen wird in Anhang A1 gezeigt.

Das wichtigste Handlungsfeld für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft ist das Trinkwasser (W1). Die wichtigsten Anpassungsmassnahmen sind w1 (Planungsinstrumente für eine Wasserressourcen-Bewirtschaftung) und w3 (Vernetzung/Regionalisierung der Wasserversorgung).

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungs-felder	Mass-nahmen
Gewitter/Hagel	Änderung der Schäden an der Trink- und Abwasserin-frastruktur.		W6	w3
		Änderung der vorübergehenden Verschmutzung von Quellen und Eintrag von Abwasser in oberflächliche Vorfluter.	W1; W6; W7 W9; W10	w1; w3; w9
Änderung im Niederschlagsregime		Schwankungen im Trinkwasserangebot (Qualität und Quantität).	W1	w1; w3; w4; w9
Allgemeine Trockenheit		Abnahme des Trinkwasserangebots für die Bevölkerung (Qualität und Quantität).	W1;	w1; w3; w4; w10
		Zunahme der Schwierigkeiten in Bezug der internationalen Seeregulierung.	W7; W8	w1; w5; w6
		Zunahme der Nachfrage von Wasser für die Industrie, die Landwirtschaft und die Biodiversität (Restwasser). Zunahme von Konflikten zwischen den verschiedenen Nutzungsarten.	W4; W5	w1; w3; w4; w7; w10
Hitzewelle	Zunahme der Nachfrage nach Trinkwasser für die Bevölkerung.		W1	w1; w3; w4
Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher		Jahreszeitliche Schwankungen des Trinkwasserangebots (Qualität und Quantität).	W1	w1; w3; w4; w9

Tabelle 69: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot und die mittels Sensitivitätsanalyse ausgewerteten Auswirkungen in blau dargestellt.***

Wirkungsmodell

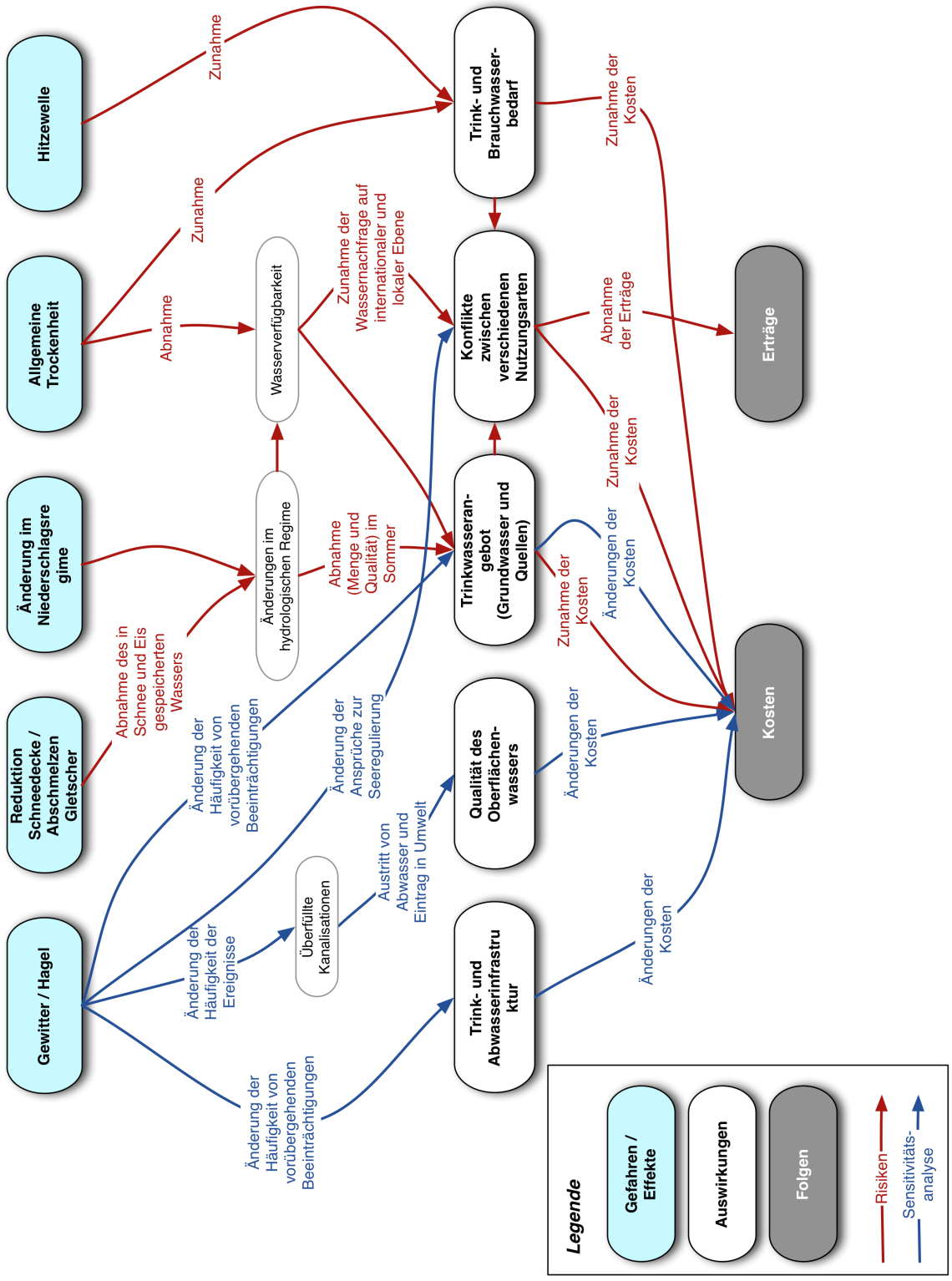


Abbildung 131: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft.

Gewitter/Hagel

Quantitative Auswirkungen

Schäden an der Trink- und Abwasserinfrastruktur

Durch Gewitter ausgelöste Starkniederschläge können zu einem Anschwellen, Überfluten und zu Erosion im Bereich von Fliessgewässern führen. Dadurch können grosse Mengen an Geschiebe mitgeführt werden, wodurch u.a. Wasserversorgungsleitungen beschädigt oder zerstört werden. Schäden dieser Art können dazu führen, dass Leitungen ersetzt, das Terrain konsolidiert, Geschiebe in Flussbetten beseitigt und Wasserfassungen saniert werden müssen.

Die Analyse historischer Daten aus dem Zeitraum 1998-2012 erlaubte es, sämtliche Schäden an der Trink- und Abwasserinfrastruktur des Tessins infolge von Gewittern aufzuzeigen (Veronesi, 2015). Mittels einer Unterteilung in Klassen mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden der einzelnen Ereignisse (analog wie in Kapitel 3.5 beschrieben) ist mit einem jährlichen Erwartungswert von Schäden an der Trink- und Abwasserinfrastruktur infolge von Gewittern in der Höhe von rund 120'000 Fr. zu rechnen.

Die Anwendung der Gumbel-Analyse auf die Datenreihen vergangener Ereignisse (vgl. Kapitel 3.7) zeigt, dass ein hunderjährliches Ereignis ca. 3 Verletzte verursacht. Monetarisiert entspricht dies Kosten von ca. 1.9 Mio. Fr.

Die Trink- und Abwasserinfrastruktur des Tessins weist einen Gesamtwert von etwa 5'488 Mio. Fr. auf. Pro Jahr entstehen Betriebskosten in der Höhe von 161 Mio. Fr. und es werden in diesem Sektor Investitionen von ca. 73 Mio. Fr. pro Jahr getätigt (siehe Kap. 5.6.1). Vergleicht man diese Zahlen mit jenen in Bezug auf die Schäden und unter der Annahme, dass die Auswirkung auf die Abwasser- vergleichbar mit der Versorgungsinfrastruktur ist, kann festgestellt werden, dass die Schäden infolge von Gewittern insgesamt eine geringe Bedeutung für die Trink- und Abwasserinfrastruktur haben.

Eine verlässliche Prognose der zukünftigen Entwicklung der Gefahr/des Effektes Gewitter/Hagel ist zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Unter den beiden Szenarien schwach und stark wird daher davon ausgegangen, dass diese Gefahr/dieser Effekt in Zukunft im Vergleich zur Situation heute keine Änderungen aufweist. Um mögliche Änderungen dennoch zu berücksichtigen, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse die Zu- oder Abnahme dieser/s Gefahr/Effekts um den Faktor 1.5 analysiert. Die Resultate dazu finden sich in Kapitel 5.6.4.

Was das Referenzszenario betrifft, ist die Unsicherheit primär auf den relativ kurzen Beobachtungszeitraum, die evtl. nicht vollständigen Daten der Schäden an der Trink- und Abwasserinfrastruktur und auf die grossen Schwankungen der jährlichen Schäden infolge von Gewittern zurückzuführen. Im Kapitel wurde zudem nicht auf die möglichen Schäden an Regenwasserleitungen eingegangen. Zusammenfassend kann von einer **geringen** Unsicherheit ausgegangen werden.

Qualitative Auswirkungen

Vorübergehende Verschmutzung von Quellen und Eintrag von Abwasser in oberflächliche Vorfluter.

Gewitter und Hagel können zu einem Anstieg und Überfluten der Fliessgewässer führen, was zum Eintrag von Material, z.B. organischem und anorganischem Schutt, in Trinkwasserfassungen führen kann.

Ein hoher Eintrag von Regenwasser in Mischkanalisationen kann zu einem Eintrag von Abwasser in den oberflächlichen Vorfluter führen. Dies führt zu einer vorübergehenden Verschmutzung des Oberflächenwassers mit der daraus folgenden Beeinträchtigung der Qualität der Oberflächengewässer und der aquatischen Ökosysteme.

Da die zukünftige Entwicklung der Gefahr Gewitter/Hagel nicht klar ist, kann nicht davon ausgegangen werden, dass dieses Risiko zunehmen wird.

Änderung im Niederschlagsregime

Qualitative Auswirkungen

Schwankungen im Trinkwasserangebot

Die Änderung im Niederschlagsregime könnte im Tessin zu Änderungen im Wasserkreislauf führen. Die Verfügbarkeit von Wasser in Quellen sowie die saisonale Schüttmenge könnten sich in Zukunft ändern. Eine empfindliche Variable in diesem Zusammenhang ist der Abfluss in Einzugsgebieten. Zur Auswertung ihrer zukünftigen Entwicklung in den Einzugsgebieten diente eine von der WSL durchgeführte Studie (im Auftrag der Elettricità della Svizzera italiana (ESI)) (ESI & WSL, 2015).

Auf Basis der Daten dieser Studie war es möglich, die Abflüsse für den Sopraceneri und den Sottoceneri unter den verschiedenen Szenarien separat auszuwerten. In Abbildung 132 finden sich die Ganglinien der mittleren monatlichen Abflüsse und in Abbildung 133 die Säulendiagramme der jährlichen Abflusswerte. Was die fürs 2060 prognostizierten Abflüsse betrifft, ist zu erwähnen, dass das Szenario „Klima 2060 RCP3PD (50° perc.)" dem Szenario schwach entspricht, das Szenario "Klima 2060 A1B (50° perc.)" jedoch nicht dem Szenario stark. Im Rahme der Studie der WSL wurden auch die weiteren Szenarien „lower" (10°. Perzentil) und "upper" (90°. Perzentil) sowie die Entwicklung der Emissionen unter dem Szenario A1B ausgewertet. Letztere beide Szenarien („lower" und „upper"), welche auf einem zuverlässigen hydrologischen Modell basieren (D. Viviroli, 2009), erlauben die Definition eines tolerierbaren Unsicherheitsbereichs. Die Unsicherheit ist in Abbildung 132 durch vertikale Striche dargestellt. Im Vergleich zum Szenario „Klima 2060 A1B (50° perc.)" könnten die Abflüsse unter dem Szenario stark während dem Winter und Frühjahr etwas höhere und während dem Sommer und Herbst leicht tiefere Werte aufweisen. Übers ganze Jahr gerechnet kompensieren sich jedoch diese Unterschiede. Zudem liegt das Szenario stark innerhalb dieser Unsicherheitsbereiche, so dass die Werte des Szenarios „Klima 2060 A1B (50° perc.)" gleichwohl als repräsentativ für das Klimaszenario stark betrachtet werden können (vgl. Kolonne in Abbildung 133).

Generell ist ein grosser Unterschied der Abflusswerte zwischen dem Sopra- und Sottoceneri feststellbar. Im Sopraceneri sind die Werte allgemein höher, mit Ausnahme der kältesten

Monate (Dezember bis Februar). Im Sopraceneri sind insbesondere während den Monaten April bis Juni sehr hohe Abflusswerte mit einem Maximum im Mai zu verzeichnen. Diese Zunahme, welche aufgrund der Schneeschmelze im Frühjahr eintrifft, ist im Sottoceneri deutlich schwächer ausgeprägt. Unter den zukünftigen Szenarien kommt es zu einer gleichmässigeren Verteilung der Abflüsse im Verlauf eines Jahres. Während den Wintermonaten sind die Abflüsse höher als heute, dies Aufgrund der erwarteten Zunahme der Niederschläge. Ausserdem wird durch die höheren Temperaturen weniger Wasser in Form von Schnee gespeichert, wodurch im Frühjahr die Abflüsse abnehmen werden.

Insgesamt werden die jährlichen Gesamtabflüsse unter beiden zukünftigen Szenarien abnehmen (vgl. Abbildung 133), und zwar um 4.1 % unter dem Szenario schwach und um 6.7 % unter dem Szenario stark im Sopraceneri. Im Sottoceneri kommt es zu einer Abnahme von rund 4.9 % resp. 8.1 % unter dem Szenario schwach resp. stark.

Die Abnahme der Abflüsse kann zu einer Abnahme des für die Wasserversorgung notwendigen Wassers führen. Deshalb muss eine genügende Redundanz und Diversifizierung der Trinkwasserquellen gewährleistet sein. Die Wasserversorgung des Tessins ist in den letzten Jahren immer grossräumiger geworden, zudem sind die einzelnen Wasserversorgungsanlagen oft miteinander verbunden. Diese Strategie konkretisiert die Ziele des kantonalen Gesetzes über die Wasserversorgung (LApprl, 1994; www.ti.ch/acqua) und ermöglicht es, mehrere Wasserspeicher parallel zu nutzen, wodurch Wassermängel verhindert werden. Kürzlich hat z.B. die AIL die Wasserversorgungen Pregassona und Viganello miteinander verbunden, um auch bei Wasserknappheit in beiden Gemeinden eine ausreichende Wasserversorgung zu gewährleisten (AIL, M. Broggini).

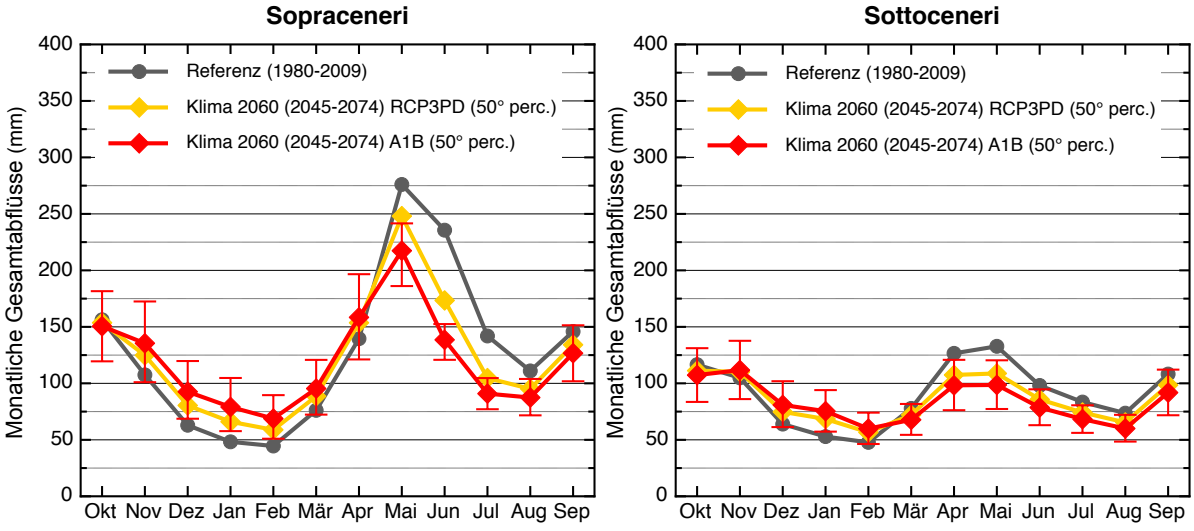


Abbildung 132: ***Monatliche Gesamtabflüsse im Sopra- und Sottoceneri. Das Referenzszenario und die zukünftigen Szenarien basieren auf einer Studie für diverse Einzugsgebiete, die für Wasserkraftwerke bedeutend sind. Beim Szenario „Klima 2060 A1B (50° perc.)“ sind Unsicherheitsbalken (rote vertikale Striche) dargestellt deren Grenzwerte den Szenarien “lower“ (10° percentile) und “upper” (90° percentile) entsprechen (ESI & WSL, 2015).***

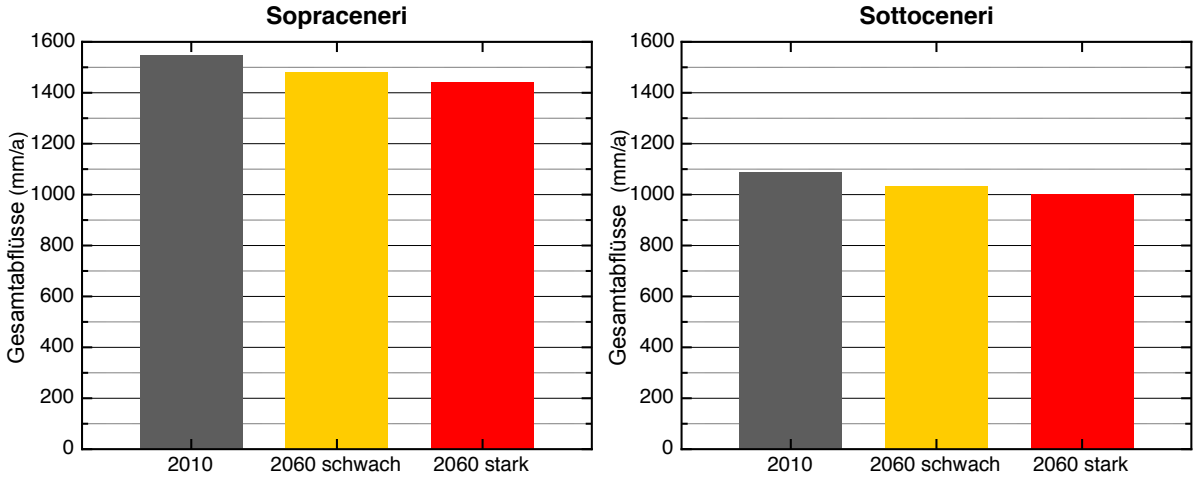


Abbildung 133: Jährliche Gesamtabflüsse im Sopra- und Sottoceneri. Die Abflüsse unter dem Referenzszenario und den zukünftigen Szenarien basieren auf einer Studie für diverse Einzugsgebiete, die für Wasserkraftwerke bedeutend sind (ESI & WSL, 2015).

Für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft schätzt die Arbeitsgruppe für beide zukünftigen Szenarien die Abnahme der Abflüsse und die entsprechende Abnahme des Wasserangebots als ein **deutlich geringeres** Risiko im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken ein.

Allgemeine Trockenheit

Qualitative Auswirkungen

Wassermangel und Zunahme von lokalen und internationalen Konflikten

In Zukunft kann es infolge der zunehmenden Trockenperioden zu einem grösseren Trink- und Brauchwasserbedarf kommen. Dadurch wird mehr Wasser aus den Grundwasserleitern sowie aus Flüssen (z.B. Ticino, dessen Wasser für die Bewässerung genutzt wird) entnommen. So wird der Grundwasserspiegel stark sinken, wodurch das Wasserangebot weiter abnimmt.

In der Gemeinde Castel San Pietro (Mendrisiotto) kam es in den letzten Jahren während Trockenperioden häufig zu Mangel an Trinkwasser. Jedoch hatte die Bevölkerung immer Zugang zu Trinkwasser (dank restriktiven Regeln für den Umgang mit Trinkwasser). Im Jahr 2013 löste die erwähnte Gemeinde das Problem dank der Zusammenarbeit mit den angrenzenden Gemeinden und indem sie die Wasserversorgung ausbaute (kantonale Strategie bereits heute in Kraft gesetzt).

Infolge zunehmender Trockenphasen wird es zu einer starken Abnahme der sicheren Trinkwasserquellen führen (die zumindest teilweise ausgetrockneten Quellen werden sukzessive zunehmen). Dadurch wird die Nutzung des Grundwasser sowie der Seen zunehmen. Generell wird nicht davon ausgegangen, dass der Klimawandel zu Trinkwassermangel führen wird, jedoch werden die Konflikte für andere Nutzungen (Bewässerung, hydroelektrische Stromproduktion, Kühlung, Reinigungen, etc.) zunehmen. Einschränkungen der Trink- und Brauchwassernutzung werden dadurch immer häufiger vorkommen. Die kantonalen und kommunalen Behörden – welche die lokalen Bedingungen sehr gut kennen und für die Be-

stimmung der Prioritäten besser positioniert sind – werden immer mehr gefragt sein, den Zugang zu Wasser zu regeln.

Während Perioden mit Wassermangel – wie jene des Sommers und Winter 2015 – wird auch die Wassernachfrage auf internationaler Ebene und damit auch die Notwendigkeit einer Seeregulierung, welche alle beteiligten Parteien (Landwirtschaft, Tourismus, Biodiversität, hydroelektrische Stromproduktion, Schifffahrt etc.) berücksichtigt.

Für das Szenario stark hat die Arbeitsgruppe dieses Risiko insgesamt als **grösser** als die quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft. Für das Szenario schwach hingegen wird das Risiko als **nicht relevant** bewertet, da unter diesem Szenario von keinen Änderungen der Häufigkeit von allgemeiner Trockenheit ausgegangen wird (vgl. Kapitel 4.5.10).

Hitzewelle

Quantitative Auswirkungen

Zunahme der Nachfrage nach Trinkwasser

Während Hitzewellen, Perioden mit sehr hohen Tages- und Nachttemperaturen, nimmt der Trinkwasserverbrauch der Bevölkerung zu. Infolge der Hitze wird u.a. mehr Wasser für die Füllung von Schwimmbädern oder zum Duschen verbraucht. Zudem steigt der Verbrauch zur Bewässerung von Landwirtschaftsflächen oder Gärten.

In Abbildung 134 ist ersichtlich, wie der mittlere Wasserverbrauch pro Kopf und Tag im Sommer 2003 (Sommer mit äusserst vielen Hitzewellentagen und Temperaturen über dem langjährigen Mittel) schweizweit deutlich anstieg.

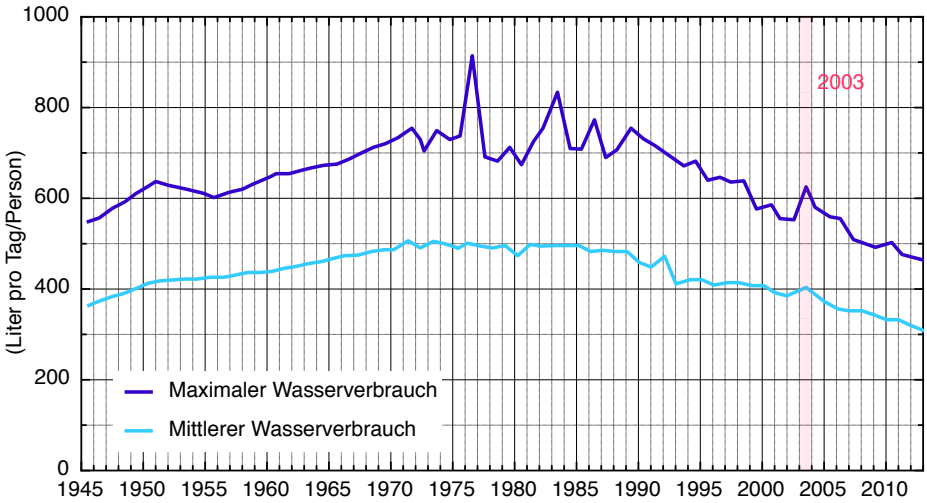


Abbildung 134: Mittlerer Wasserverbrauch pro Kopf in der Schweiz. Erkennbar ist die deutliche Zunahme im Sommer 2003 (charakterisiert durch mehrere Hitzewellen) des Verbrauchs (sowohl mittlerer als auch maximaler) (Trinkwasser SVGW, 2015).

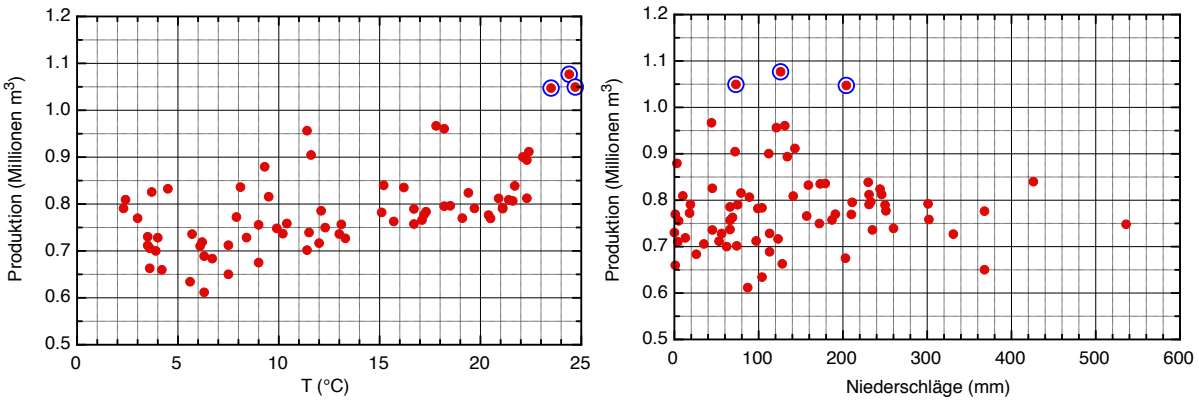


Abbildung 135: Korrelation zwischen der Trinkwasserabgabe und der Lufttemperatur und Korrelation zwischen der Trinkwasserabgabe und den Niederschlägen (AIL, 2010). Die blau umkreisten Punkte sind jene der Monate Juni, Juli und August 2003.

Die Analyse der monatlichen Trinkwasserabgabe der AIL zwischen 1998 und 2003 (AIL, 2010) zeigt, dass zwischen der monatlichen Mitteltemperatur und der Abgebe eine positive Korrelation besteht. Zwischen monatlichen Niederschlägen und Abgabe ist die Korrelation negativ und weniger ausgeprägt (vgl. Abbildung 135) [20].

Die Trinkwasserabgabe hängt somit sowohl von Änderungen der monatlichen Mitteltemperaturen als auch des Niederschlagsregime ab.

Mittels Analyse der von AIL (AIL, 2010) erhaltenen Daten war es möglich zu zeigen, dass der Wasserbedarf (Abgabe) auf der Basis der von Temperatur und Niederschlag abhängigen Daten mittels nachfolgender mathematischer Gleichung beschreibbar ist:

$$Abgabe\ AIL\ (\frac{m^3}{Monat}) = 669266 + 8509 \cdot T_{Monat} - 88 \cdot P_{Monat} - 16103 \cdot sin(\frac{Monat}{12 \cdot \pi})$$

Gleichung 1: Berechnung der Trinkwasserabgabe der AIL auf Basis der Temperatur und des Niederschlags.

Dabei sind T_{Monat} die monatliche Mitteltemperatur, P_{Monat} die monatliche Niederschlagssumme und *Monat* die Nummer des Monats (Bsp. Januar = 1, Februar = 2 etc.).

Während Hitzewellen (Perioden mit aussergewöhnlich hohen Temperaturen und oft mit Trockenheit einhergehend) ist der Trinkwasserkonsum höher als die in Gleichung 1 aufgeführte Abgabe. Um die genaue Zunahme des Trinkwasserbedarfs während Hitzewellen zu bestimmen, werden die Daten vom Jahr 2000 (Jahr ohne Hitzewellen) und 2003 (Jahr mit vielen (66) Hitzewellentagen) separat ausgewertet.

Der geschätzte Trinkwasserkonsum im Jahr 2000 liegt leicht unter dem tatsächlich gemessenen, der geschätzte Wert des Jahres 2003 liegt weitaus höher als der gemessene Wert. Der mittlere Unterschied der drei Monate (Juni, Juli und August) zwischen dem gemessenen und berechneten Wert (vgl. Gleichung 1) für die Jahre 2000 und 2003 lässt den zusätzlichen

[20] Für die Analyse wurden nicht die neusten Daten verwendet, da die Anzahl Gemeinden, die von AIL versorgt werden, seit 2003 zugenommen hat. Die Daten wären somit aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen nicht vergleichbar.

Wasserbedarf ableiten. Daraus zeigte sich, dass während Hitzewellen der mittlere Trinkwasserbedarf um rund 175 l pro Kopf höher als der Normalkonsum liegt. Der Wert wurde unter Berücksichtigung des Unterschieds der von AIL versorgten Bevölkerungszahl zwischen dem Jahr 2000 und der aktuellen Bevölkerungszahl berechnet.

Der höhere Trinkwasserbedarf ist auf häufigeres Duschen, den Gebrauch von Schwimmbädern und den höheren Bewässerungsbedarf (aufgrund der Trockenheit, die während Hitzewellen vorherrscht) zurückzuführen. Als Grundlagen für die Berechnung des erhöhten Wasserbedarfs sind folgende Informationen dienlich: Im Mittel liegt in der Schweiz der Trinkwasserverbrauch für das Baden und Duschen bei ca. 36 Litern pro Person und Tag (SSIGA, 2015), während der gesamte mittlere Trinkwasserverbrauch bei rund 250 Litern pro Person und Tag liegt (siehe Abbildung 134).

Unter dem Referenzszenario kommt es im Mittel zu rund 22 Hitzewellentagen pro Jahr (vgl. Kapitel 4.5.12), welche im Tessin (unter Annahme der aktuellen Bevölkerungszahl von 346'500 Personen) einen zusätzlichen Trinkwasserbedarf von 1.3 Mio. m^3 hervorrufen. Bei einem Trinkwasserpreis für den Nutzer von 2 Fr./m^3 (Trinkwasser SVGW, 2015) entstehen Mehrkosten von 2.7 Mio. Fr./Jahr.

Als Extremereignis für die Gefahr Hitzewelle wurde das Jahr 2003 definiert, in welchem insgesamt 66 Hitzewellentage gezählt wurden. So kann davon ausgegangen werden, dass im Jahr 2003 ca. 4 Mio. m^3 Trinkwasser aufgrund der Hitzewellen verbraucht wurden (entspricht Kosten von rund 8 Mio. Fr.).

Unter den zukünftigen Szenarien wird von einem Anstieg der Hitzewellentage ausgegangen (vgl. Kapitel 4.5.12). Dies wird zu einer Zunahme des Wasserbedarfs um ca. 97 % im Szenario schwach und um 212 % im Szenario stark führen.

Die Unsicherheit beim Referenzszenario basiert auf den Unsicherheiten des Berechnungsmodells zum Trinkwasserkonsum, auf der Vermutung, dass der Konsum der Abgabe entspricht, auf der Übertragung der AIL-Daten auf den ganzen Kanton[21], sowie auf der Berechnung des Trinkwasserbedarfs während Hitzewellentagen. Aus diesen Faktoren ergibt sich eine **geringe** Unsicherheit. Für die zukünftigen Schätzungen basiert die Unsicherheit auf der Berechnung der zukünftigen Anzahl Hitzewellentage. Sie ist als **mittel** einzustufen.

Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher

Qualitative Auswirkungen

Jahreszeitliche Schwankungen des Trinkwasserangebots

Das Trinkwasserangebot im Tessin (Quellen, Grundwasserleiter, Oberflächenwasser) ist eng mit der Wasserreserve in Form von Schnee korreliert. Die Schneeschmelze wird in Zukunft infolge der zunehmenden Mitteltemperatur früher eintreten als heute, und zudem werden die Schneemengen abnehmen. Diese Faktoren werden zu einer Änderung des Wasserangebots

[21] Nebst den Gemeinden Lugano und Massagno (von denen die Bevölkerungszahlen im 2000 abgeleitet wurden), produzierten die AIL zwischen 1998 und 2000 Trinkwasser, das anderen Gemeinden geliefert wurde (teilweise oder komplette Versorgung). Die teilweise Versorgung schwankt je nach Monat und hängt von den Niederschlägen und Quellschüttungen in den Gemeinden ab. Es ist deshalb schwierig, die genaue Anzahl mit Trinkwasser belieferten Einwohner zu bestimmen.

in den verschiedenen Jahreszeiten führen (tendenziell wird es im Winter höher und im Sommer geringer sein).

In der von der WSL durchgeführten Studie (ESI & WSL, 2015) wurden die Auswirkungen der Reduktion der Schneedecke auf das Wasserangebot in den Flüssen (Abfluss) untersucht. Generell wurde aufs ganze Jahr verteilt ein gleichmässigeres Wasserangebot festgestellt: Der Anstieg der Abflusswerte im Frühjahr, der u.a. von der Schneeschmelze abhängt, wird in Zukunft weniger stark ausfallen. Im Winter hingegen wird das Wasserangebot höher sein (vgl. Kapitel 4.5.2).

Auf die Auswirkungen der Reduktion der Schneedecke auf das Wasserangebot in den Grundwasserleitern und Quellen wird nicht weiter eingegangen, da sie im Rahmen der Gefahren „allgemeine Trockenheit“ und „Änderung im Niederschlagsregime“ erläutert werden.

5.6.3. Quantitative Analyse

Die Details der Berechnungen des Erwartungswertes und der Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft sind in Anhang A6 ersichtlich, während die Details der Gumbel-Analyse für die Extremereignisse in Anhang A10 aufgeführt sind.

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 136 sind die jährlichen Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die dazugehörenden Werte finden sich in Tabelle 70.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Gewitter/Hagel									
Schäden an Trink- und Abwasserinfrastruktur	-0.09	-0.12	-0.15	-	-	-	-	-	-
Hitzewelle									
Trink- und Brauchwasserverbrauch	-2.1	-2.7	-3.5	-3.5	-5.3	-7.9	-5.6	-8.3	-12.5
Bilanz	**-3.6**	**-2.8**	**-2.2**	**-8.1**	**-5.4**	**-3.6**	**-12.7**	**-8.4**	**-5.7**

Tabelle 70: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft. Es sind sowohl die heutigen Kosten (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die rot markierten Gefahren/Effekte stellen Risiken dar, die blau markierten wurden mittels Sensitivitätsanalyse ausgewertet.***

Gewitter/Hagel verursachen relativ geringe Schäden und damit Kosten an der Trink- und Abwasserinfrastruktur. Für diese Gefahr ist es nicht möglich, eine längerfristige Prognose zu erstellen. Die möglichen Änderungen wurden mittels Sensitivitätsanalyse in Kapitel 5.6.4 erläutert.

Die Zunahme der Hitzewellen wird zu einem grösseren Wasserbedarf führen. Generell werden die gesamten Kosten aufgrund des zusätzlichen Wasserverbrauchs während Hitzewellen höher als die Kosten für die Instandstellung der Trink- und Abwasserinfrastruktur.

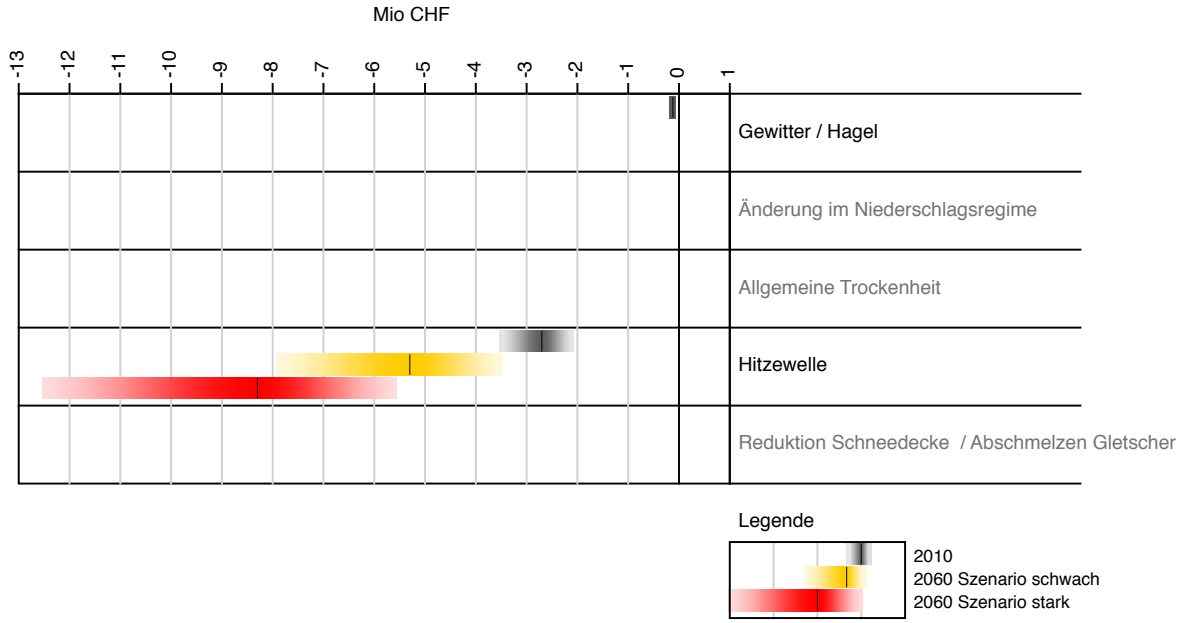


Abbildung 136: Kosten (negativ) jeder Gefahr oder jedes Effekts für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).

Extremereignisse

In Abbildung 137 finden sich die Kosten, welche durch ein Extremereignis (einer Gefahr/ eines Effekts) im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

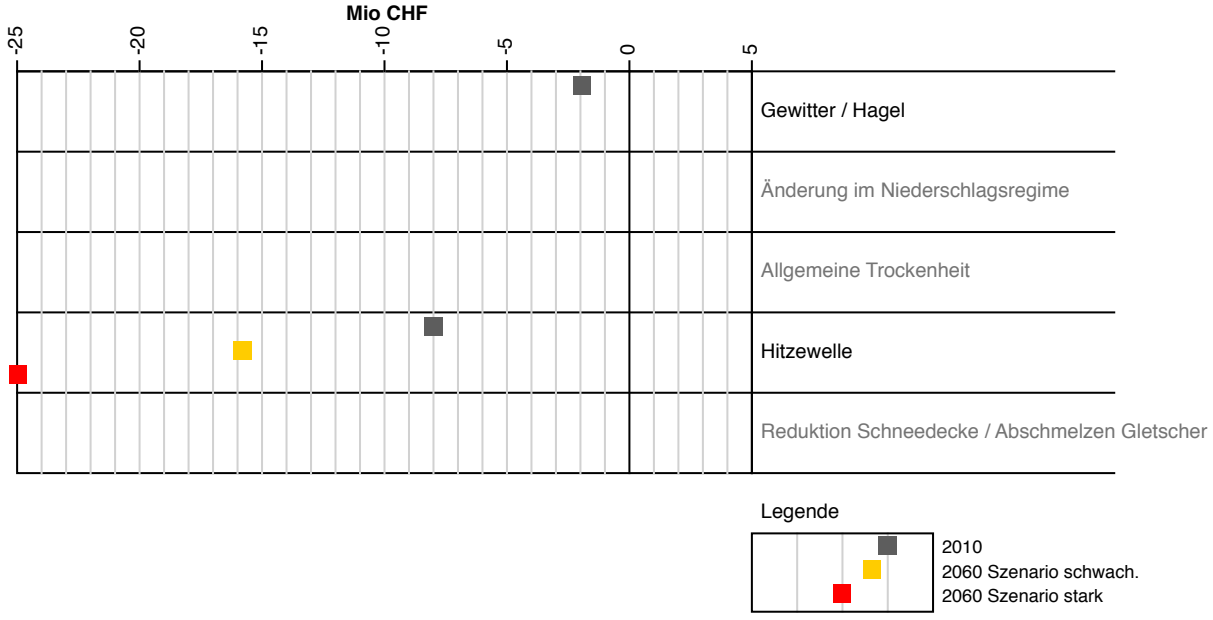


Abbildung 137: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für jede Gefahr oder jeden Effekt im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.

Ein Extremereignis der Gefahr Gewitter/Hagel würde zu grösseren Schäden an der Wasserversorgungs- und Entsorgungsinfrastruktur führen. Die Gesamtkosten beliefen sich auf knapp 2 Mio. Fr.

Bedeutender sind die Konsequenzen während Hitzewellen. Der Wasserbedarf der Bevölkerung steigt stark an, wodurch erhebliche Mehrkosten für die Verbraucher entstehen. Unter dem Szenario schwach (ca. 100 % Zunahme der Hitzewellentage) käme es zu Mehrkosten von rund 16 Mio. Fr. Unter dem Szenario stark (ca. 212 % Zunahme der Hitzewellentage) lägen diese gar bei 25 Mio. Fr.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

In Abbildung 138 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft dargestellt. Für diesen Auswirkungsbereich wurden keine Chancen ausgewertet. Deshalb entspricht die Totalbilanz der Summe aller Risiken. In der Grafik wurden einzig die Mehrkosten infolge des höheren Wasserverbrauchs aufgrund von Hitzewellen berücksichtigt. Im Mittel wird es zu Gesamtkosten (Zunahme der Kosten) in der Höhe von 2.6 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario schwach und 5.7 Mio. Fr./Jahr unter dem Szenario stark kommen.

Die Totalbilanz zeigt, dass der Klimawandel insgesamt eine negative Auswirkung auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft ausübt. Dabei ist der Unterschied zwischen dem Referenzszenario und den beiden zukünftigen Szenarien beachtlich.

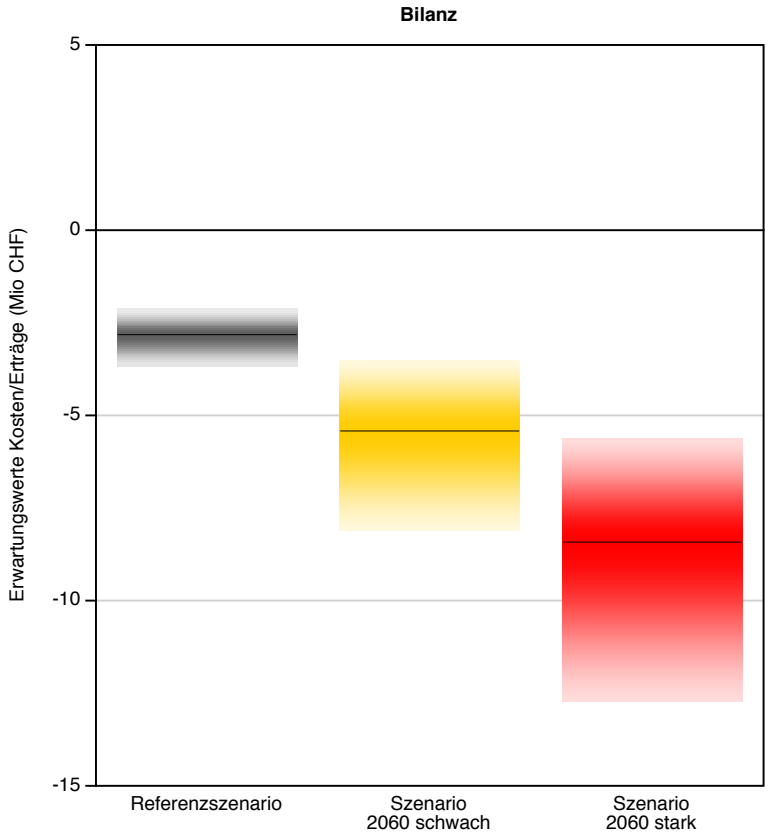


Abbildung 138: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft. Die Grafik zeigt die jeweiligen Erwartungswerte sowie die Unsicherheitsbalken.

5.6.4. Sensitivitätsanalyse

Eine zuverlässige Prognose der Entwicklung der Gefahr Gewitter/Hagel unter den Szenarien schwach und stark ist nicht möglich. In den nachfolgenden Tabellen befinden sich die Differenz zwischen der Totalbilanz der Szenarien schwach und stark und dem Referenzszenario bezüglich möglicher Änderungen der Häufigkeit der Gefahr Gewitter/Hagel. Die Auswertung basiert dabei auf einer Sensitivitätsanalyse. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich die Bilanz für das Referenzszenario (Kosten) im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft auf Kosten in der Höhe von rund 3 Mio. Fr. beläuft.

Szenario SCHWACH	Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel		
	0.67	1	1.5
	-2.56	-2.60	-2.66

Tabelle 71: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Wasserwirtschaft zwischen dem Szenario schwach und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Szenario STARK	Änderung der Häufigkeit von Gewitter/Hagel		
	0.67	1	1.5
	-5.62	-5.66	-5.71

Tabelle 72: ***Differenzen der Totalbilanz (in Mio. Fr.) des Sektors Wasserwirtschaft zwischen dem Szenario stark und dem Referenzszenario in Bezug auf mögliche zukünftige Änderungen der Häufigkeit von Gewitter/Hagel (0.67 = Abnahme der Häufigkeit um Faktor 0.67; 1.5 = Zunahme um Faktor 1.5).***

Ein Anstieg der Gefahr/des Effekts Gewitter/Hagel könnte eine moderate Steigerung der Kosten für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft zur Folge haben. Im Extremfall könnte die Zunahme beim Szenario schwach ca. 2.3 % im Vergleich zum Referenzszenario und beim Szenario stark ca. 1 % betragen. Die stärkere relative Zunahme unter dem Szenario schwach hängt damit zusammen, dass bei diesem die Auswirkungen von Hitzewellen weniger stark ausfallen als beim Szenario stark. Eine Abnahme der Gefahr/des Effekts Gewitter/Hagel könnte zu einem Rückgang (weniger ausgeprägt als die Zunahme) der Gesamtkosten im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft führen. Dieser kann unter dem Szenario schwach bis zu 1.5 % im Vergleich zum Referenzszenario betragen. Unter dem Szenario stark läge der Rückgang bei ca. 0.7 %. Der unterschiedlich starke relative Rückgang der beiden zukünftigen Szenarien kommt durch die unterschiedlichen Änderungen der Kosten infolge von Hitzewellen zustande.

5.6.5. Qualitative Analyse

In Abbildung 139 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

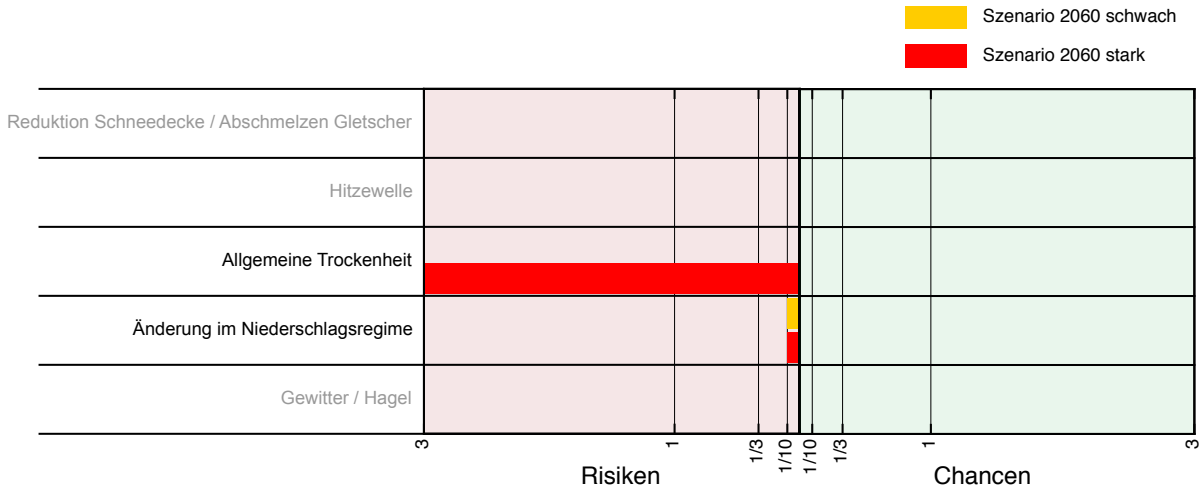


Abbildung 139: Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.

Die Totalbilanz der qualitativ ausgewerteten Auswirkungen zeigt, dass die Risiken (primär auf die Änderung der Trink- und Brauchwasserverfügbarkeit und der daraus folgenden Zunahme der Konfliktlage auf lokaler und internationaler Ebene zurückzuführen) unter dem Szenario stark eine als **grösser** zu bewertende Auswirkung haben, bezüglich den quantitativ ausgewerteten Auswirkungen. Unter dem Szenario schwach sind die Auswirkungen jedoch **deutlich geringer** als die quantitativ ausgewerteten Auswirkungen (unter diesem Szenario sind keine Änderungen der allgemeinen Trockenheit zu erwarten).

In Tabelle 73 finden sich die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft monetarisiert wurden.

Auswirkungs-bereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Wasserwirtschaft	-0.3	-	-17.5	-

Tabelle 73: Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft unter den Szenarien schwach und stark.

5.6.6. Sozioökonomisches Szenario 2060

Trinkwasserverbrauch

Das Wachstum der Tessiner Bevölkerung um 14.2 % (vgl. Kapitel 4.6) bis 2060 wird zu einem grösseren Trinkwasserverbrauch führen.

Zwischen 1980 bis 2010 nahm der mittlere Trinkwasserverbrauch pro Kopf in der Schweiz ab (vgl. Abbildung 134). Diese Abnahme beruht primär auf Effizienzzunahmen und Strukturänderungen in der Industrie und bei Haushaltsgeräten (z.B. Waschmaschine, Geschirrspülmaschinen etc.), sowie auf der vermehrten Sensibilisierung der Bevölkerung bezüglich des Wasserverbrauchs. Unter der Annahme, dass sich diese Faktoren auch in Zukunft weiter entwickeln, ist bis 2060 eine weitere Abnahme des Trinkwasserverbrauchs pro Kopf um ca. 20 % zu erwarten (ohne Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums).

Trink- und Abwasserinfrastruktur

Infolge des Bevölkerungswachstums und der Zunahme der bebauten Fläche wird die Trink- und Abwasserinfrastruktur ausgebaut werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass der Ausbau proportional zur Zunahme (um 7 % bis 2060) der bebauten Fläche erfolgt (vgl. Kapitel 4.6).

Trinkwasserpreis

Die Trinkwassergebühr hängt sowohl vom Verbrauch als auch von Investitionen in die Wasserversorgungs- und Entsorgungsinfrastruktur ab. Zum Teil wird der Trinkwasserpreis von politischen Behörden (z.B. Gemeinden) niedrig gehalten. Falls dies wegfällt, kann es zu einer Preiserhöhung kommen. Da bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Kosten Unsicherheiten bestehen, werden diese im sozioökonomischen Szenario nicht weiter thematisiert.

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft wird als **mittel** beurteilt.

Für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft sieht das sozioökonomische Szenario einen Rückgang der Kosten vor. Dies deshalb, weil in Zukunft der Trinkwasserverbrauch pro Kopf weiter abnehmen wird. Der Rückgang der Kosten wird teilweise durch das Bevölkerungswachstum und der damit gekoppelten Erweiterung der Trink- und Abwasserinfrastruktur abgeschwächt.

Sozioökonomisches Szenario Wasserwirtschaft

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Gewitter/Hagel							
Schäden an Trink- und Abwasser-infrastruktur	-0.09	-0.12	-0.15	1.1	-0.06	-0.13	-0.25
Hitzewelle							
Trink- und Brauchwasserver-brauch	-2.1	-2.7	-3.5	0.9	-1.2	-2.4	-4.9
Total	**-3.6**	**-2.8**	**-2.2**	**-**	**-5.1**	**-2.6**	**-1.3**

Tabelle 74: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

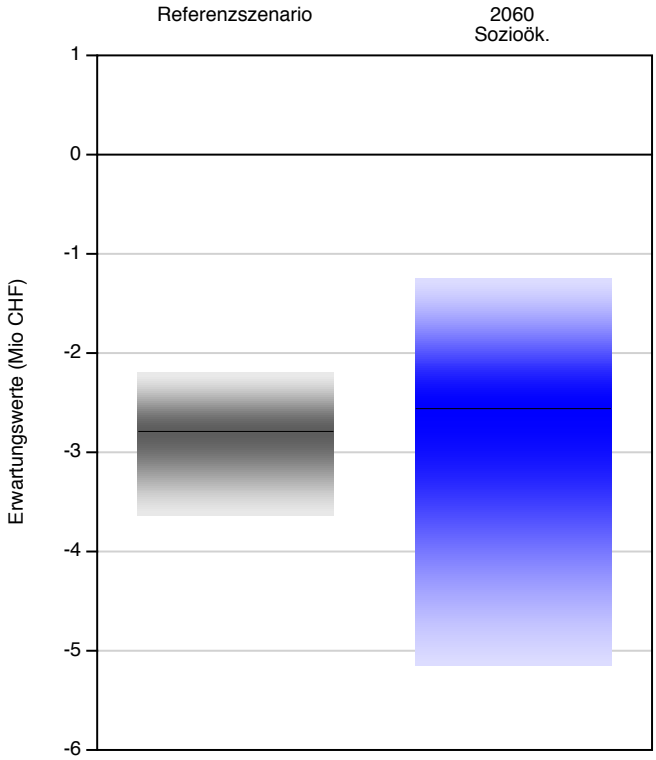


Abbildung 140: ***Grafische Darstellung der heutigen Kosten unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.***

Aufgrund der quantitativ ausgewerteten Auswirkungen lässt sich feststellen, dass für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft die für das Jahr 2060 vorhergesehenen sozioökonomischen Veränderungen einen geringeren Einfluss als der Klimawandel haben. Der Klimawandel führt zu einer Zunahme der Kosten, während das sozioökonomische Szenario eine Abnahme vorsieht. Die beiden Tendenzen könnten sich gegenseitig abschwächen.

Was die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen betrifft, ist zu erwähnen, dass die Wasserversorgung in Zukunft vermehrt regionalisiert wird und in grösseren Wasserversorgungsanlagen verbunden wird, was das Risiko des Trinkwassermangels auch während heissen und trockenen Perioden einschränken sollte. Ausserdem werden natürliche Wasservorkommen (See, Grundwasser) vermehrt genutzt werden, an Stelle der Quellen, welche viel sensibler gegenüber Trockenperioden reagieren. Die Verfügbarkeit von Grundwasser könnte infolge immer ausgedehnteren und nahe von Grundwasserschutzgebieten liegenden Siedlungen gleichwohl unter Druck geraten. Zudem könnte die zunehmende Zersiedlung und die Versiegelung des Bodens die Regeneration des Grundwassers beeinträchtigen.

5.6.7. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft hat einzig mögliche Risiken gezeigt. Zusammenfassend sind die Auswirkungen unter dem Szenario schwach **leicht negativ** (Kosten von ca. 3 Mio. Fr./Jahr) und unter dem Szenario stark **negativ** (ca. 23 Mio. Fr./Jahr; siehe Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft wurden hingegen als **gering** bewertet (Abnahme der Kosten um ca. 0.2 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.7. TOURISMUS

5.7.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Zwischen 1980 und 2015 kam es im Kanton Tessin zu einer starken Abnahme der Anzahl Übernachtungen im Gastgewerbe (vgl. Abbildung 141). Die Abnahme der Anzahl Übernachtungen von einem Maximum im Jahr 1981 zum Minimum im Jahr 2015 beträgt ungefähr 1.4 Mio. Übernachtungen. Die Anzahl der schweizweiten Übernachtungen blieb im selben Zeitraum annähernd konstant. Der Marktanteil der Tessiner Übernachtungen ist somit im schweizweiten Vergleich gesunken.

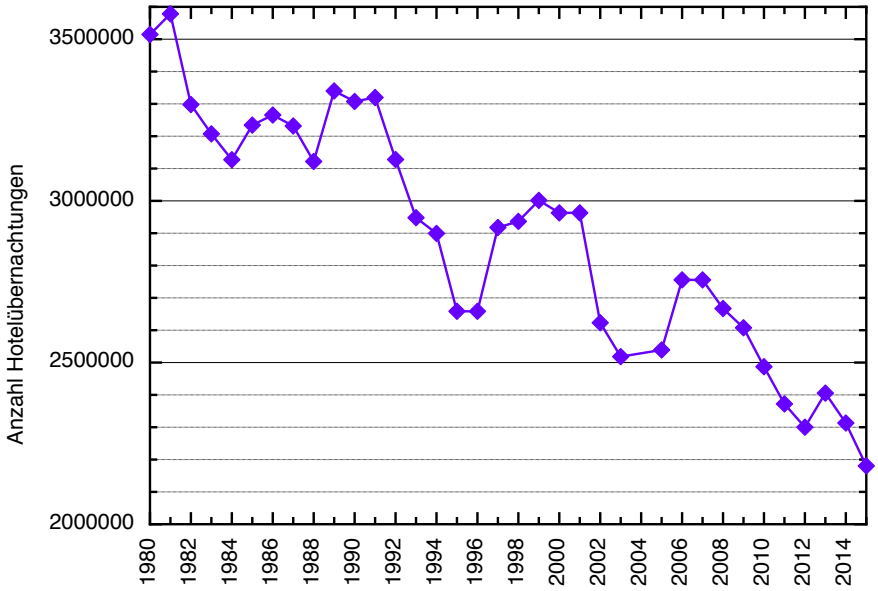


***Abbildung 141: Anzahl Hotelübernachtungen im Tessin zwischen 1980 und 2015, mit Trendlinie (*O-Tur, 2016) / Besomi, 2015).**

Nebst der Abnahme der Übernachtungen nahm auch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer von drei auf etwas mehr als zwei Tage pro Aufenthalt ab. Ausserdem kam es zu einem Rückgang der gesamten Anzahl Betten im Gastgewerbe (Abnahme um 14 % zwischen 1992 bis 2010).

In der Abbildung 142 ist der prozentuale Anteil an Übernachtungen pro Monat in Bezug auf das Jahr 1980 für alle Jahrzehnte zwischen 1940 und 2010 dargestellt (obere Grafik). In der unteren Grafik ist ersichtlich, dass mit Ausnahme des Jahres 1940, in allen analysierten Jahren, jeweils am meisten Übernachtungen in den Sommermonaten zu verzeichnen sind. Im Zeitraum vor 1960 war die Anzahl Übernachtungen insgesamt homogener übers ganze Jahr verteilt. 1940 waren am meisten Übernachtungen im Herbst zu verzeichnen. Ab den 1980-er Jahren – nach der Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels – ist jedoch eine generelle Abnahme der Übernachtungen und eine Zunahme des Tourismus im Frühjahr und Herbst zu beobachten.

Diese Daten zeigen einerseits, welche Auswirkungen Verkehrswege auf den Tourismus haben können und andererseits wie wichtig es ist, die zukünftigen Auswirkung des Gotthard-Basistunnels (AlpTransit) auf den Tourismus und generell auf die sozioökonomischen Szenarien in diesem Bericht abzuschätzen.

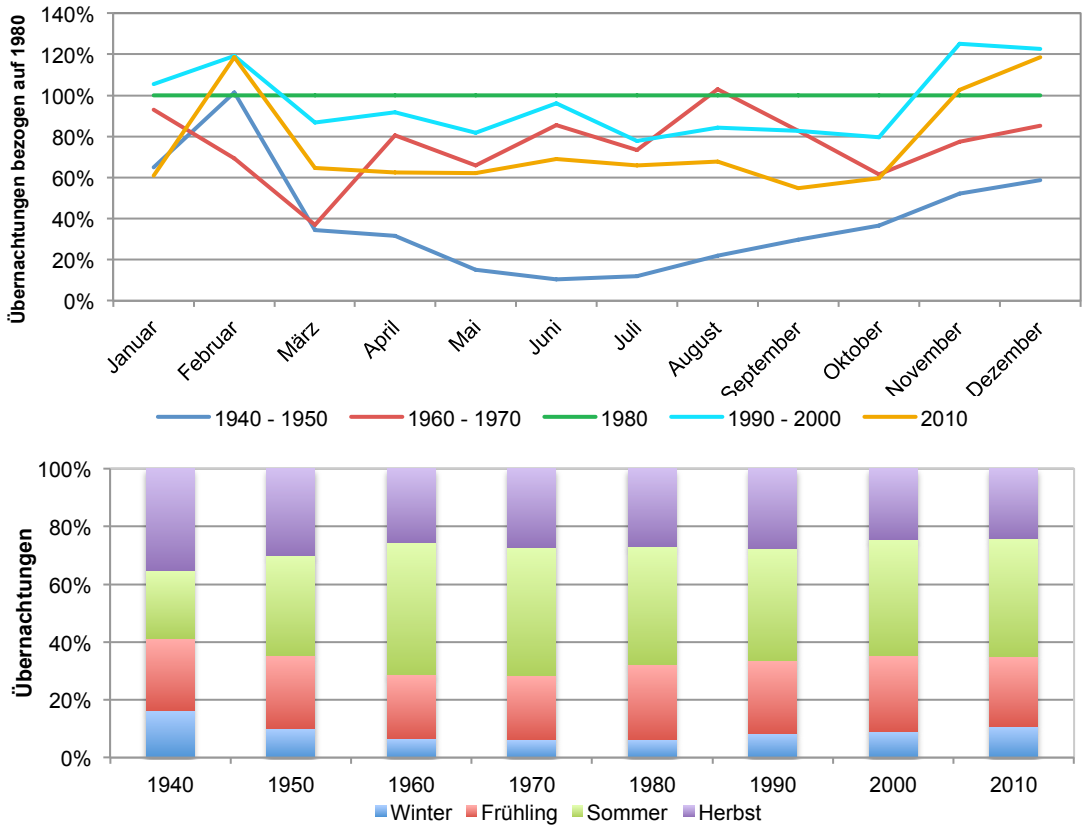


Abbildung 142: ***Monatliche Übernachtungen im Tessin im Zeitraum 1940 bis 2010. Oben: Prozentuale Anzahl Übernachtungen in Bezug auf das Jahr 1980 (Jahr vor der Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels). Unten: Verteilung der Übernachtungen nach Jahrzenten und Jahreszeiten (Besomi, 2015).***

Mittlere Tagesausgaben der Gäste im Tessin

Im Tessin weilen Touristen- resp. Gäste, die sich generell in drei Typen unterscheiden lassen:

- Übernachtende Gäste: Touristen, welche in Hotels, auf Campingplätzen, in Ferienhäusern/Wohnungen (in Miete oder Eigentum), bei Verwandten, Bekannten oder in Spitälern übernachten.
- Tagestouristen: Touristen, welche sich nur während einem Tag im Tessin aufhalten.
- Übrige Touristen: Touristen, welche zum Einkaufen, Casinobesuch, zur Durchfahrt etc. im Tessin sind.

Die mittleren Tagesausgaben der drei Touristen- resp. Gästetypen sind in Tabelle 75 aufgeführt.

Gästetyp	Mittlere Tagesausgaben (in Fr.)
Übernachtende Gäste	109
Tagestouristen	90
Übrige Touristen	59

Tabelle 75: ***Mittlere Tagesausgaben nach Gästetyp im Tessin (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014).***

Wintertourismus

Heute werden die meisten Übernachtungen im Tessin im Sommer, Frühjahr und Herbst verzeichnet. Im Winter sind es deutlich weniger. In diesem Zusammenhang erwähnenswert ist, dass die Skitouristen im Tessin (mit Ausnahme jener in Bosco Gurin) hauptsächlich Tagestouristen oder Bewohner von Zweitwohnungen sind (sie nutzen somit keine Unterkünfte).

Sommertourismus

Im Sommer werden im Tessin am meisten Übernachtungen gebucht. Der Sommertourismus konzentriert sich hauptsächlich auf die Seeregionen. Über 90 % der Übernachtungen verteilen sich auf die Regionen Luganese, Locarnese und Valle Maggia. Die Sommerveranstaltungen wie z.B. das Festival di Locarno sind wichtige Touristenattraktionen.

Bergtourismus

Der Tessiner Bergtourismus betrifft in erster Linie die Leventina, das Bleniotal und die Täler im Locarnese. Da keine spezifischen Daten zum Tourismus dieser Gebiete vorhanden sind, hat die Arbeitsgruppe die Erträge der Region Bellinzona und umgebende Täler als für den Bergtourismus repräsentativ eingestuft (vgl. Abbildung 143).

Tourismus in Städten und Tallagen

Der Tourismus in den Zentren und Tallagen des Kantons umfasst alle Städte sowie Lagen in den Niederungen des Kantons. Da über diese Gebiete keine spezifischen Daten existieren, hat die Arbeitsgruppe die Erträge der Regionen Luganersee, Lago Maggiore und die umgebenden Täler sowie das Mendrisiotto als für den Tourismus in Städten und Tallagen bedeutend kategorisiert (vgl. Abbildung 143).

Abbildung 143: Touristische Regionen des Kantons Tessin. Für jede Region sind Daten zum Tourismus und den verschiedenen Gästetypen verfügbar (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014).

Die Arbeitsgruppe geht davon aus, dass die Erträge der Täler im Locarnese annähernd jenen der Städte Bellinzona und Biasca entsprechen. Es ist gleichwohl zu erwähnen, dass die Unterkünfte im Locarnese in den Ebenen liegen (in Seenähe), die Anzahl Unterkünfte in den Tälern ist wesentlich kleiner.

5.7.2. Gefahren und Effekte 2060

Auf der Basis der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) müssen für den Auswirkungsbereich Tourismus folgende Gefahren und Effekte ausgewertet werden: Schneelawinen, Starkschneefälle, Hochwasser, Mure/Erdrutsch/Hangmure, Änderung im Niederschlagsregime, Hitzewelle, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher, Steinschlag/Fels-/Bergsturz, Veränderung Mitteltemperatur. Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 76. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Tourismus ist in Abbildung 144 ersichtlich. In diesem Auswirkungsbereich werden die Erträge von Übernachtungen in Hotels, die Nutzung von touristischen Infrastrukturen (Seilbahnen, Strände, Restaurants, Sportplätze und -einrichtungen etc.) sowie die Kosten für Transport- und touristische Infrastrukturen (Wege, Strände, Sportplätze und –einrichtungen, etc.) mit einbezogen. Ausserdem wird die Seewasserqualität berücksichtigt, welche als Auswirkung des Klimawandels das Baden und die Fischerei beeinflussen kann (z.B. zunehmendes Algenwachstum).

Für den Auswirkungsbereich Tourismus ist wichtig zu erwähnen, dass die sozioökonomischen Auswirkungen wie der Wechselkurs Fr./Euro, die Abnahme langer Ferienaufenthalte durch Familien, der Rückgang der Flugpreise und daraus folgende Bereisung exotischer Länder um einiges einflussreicher sind als die klimatischen Bedingungen. Der Klimawandel wird somit nur einer von vielen Faktoren sein, die den Tourismus im Tessin bestimmen.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Bereits heute haben die Wintersportregionen des Tessins aufgrund der geringeren Schneeverfügbarkeit im Winter Schwierigkeiten, ihre Anlagen rentabel zu betreiben. Als Strategie zur Anpassung an den Klimawandel wurden beispielsweise auf dem Monte Tamaro im 2003 die Skilifte entfernt und durch Anlagen für den Sommertourismus ersetzt (Abenteuerpark, Rodelbahn, Tyrolienne etc.). Einer der Vorteile dieser Anpassung ist die Verlängerung der Tourismussaison. Die neue Anlage kann während rund acht Monaten im Jahr genutzt werden.

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 76 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Für diesen Auswirkungsbereich sind die wichtigsten Handlungsfelder jene, die den Tourismus betreffen: T1 (Angebotsentwicklung), T2 (Gefahrenminimierung) und T3 (Kommunikation). Die als am wichtigsten erachteten Massnahmen sind t1 (Breit gefächertes Angebot fördern) und t2 (Aufbau und Nutzung von Anpassungswissen unterstützen).

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungs-felder	Mass-nahmen
Schneelawinen		Weniger vorübergehende Schliessungen von Skigebieten.	T1; T2	n1 – n7; t2
Starkschneefälle	Abnahme der Kosten für den Unterhalt von Wegen infolge von Schäden durch Schnee.		T1; T2	t2
		Weniger vorübergehende Schliessungen von Skigebieten.	T1; T2	t2
Hochwasser		Abnahme des Tourismus infolge Zunahme von Hochwasser.	N1; T2	n1 – n7; t1; t2
Mure/Erdrutsch/Hangmure		Abnahme der Erträge in Berggebieten.	N3; T2	n1 – n7; t2
Änderung im Niederschlagsregime	Zunahme der Erträge infolge der Abnahme der Niederschläge im Sommer.		T1; T3	t1; t2
		Abnahme der Erträge infolge der Zunahme der Niederschläge im Winter.	T1; T3	t1; t2
Hitzewelle	Zunahme der Touristen und Erträge in Berggebieten.		T1; T3	t1; t2
		Mögliche Abnahme der Erträge in Städten.	T1; T3	t1; t2
		Auswirkungen auf Fischerei.	GA13	ga7
Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher	Zunahme der Kosten für die künstliche Beschneiung.		T1; T3	t1; t2
	Abnahme der Erträge von Skigebieten.		T1; T3	t1; t2
		Verlust des landschaftlichen Werts aufgrund des Gletscherrückgangs.	T1	t1; t2
		Zunahme der Dauer der Sommersaison.	T1; T3	t1; t2
Steinschlag/Fels-/Bergsturz		Zunahme der Erträge in Berggebieten.	N4; T2	n1 – n7; t2
Veränderung Mitteltemperatur	Zunahme der Dauer der Sommersaison im Berggebiet.		T1; T3	t1; t2
		Abnahme der Badequalität des Wassers.	T1; T3	t1; t2;
		Abnahme des Tourismus wegen Verbreitung von Mücken.	T1; T3	t1; t2
		Mögliche Zunahme des Tourismus in Gebieten mit Badegewässern.	T1; T3	t1; t2
		Zunahme der Touristen, die sich nur wenige Tage in der Schweiz aufhalten.	T1; T3	t1; t2

Tabelle 76: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Tourismus, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün aufgeführt.***

Wirkungsmodell

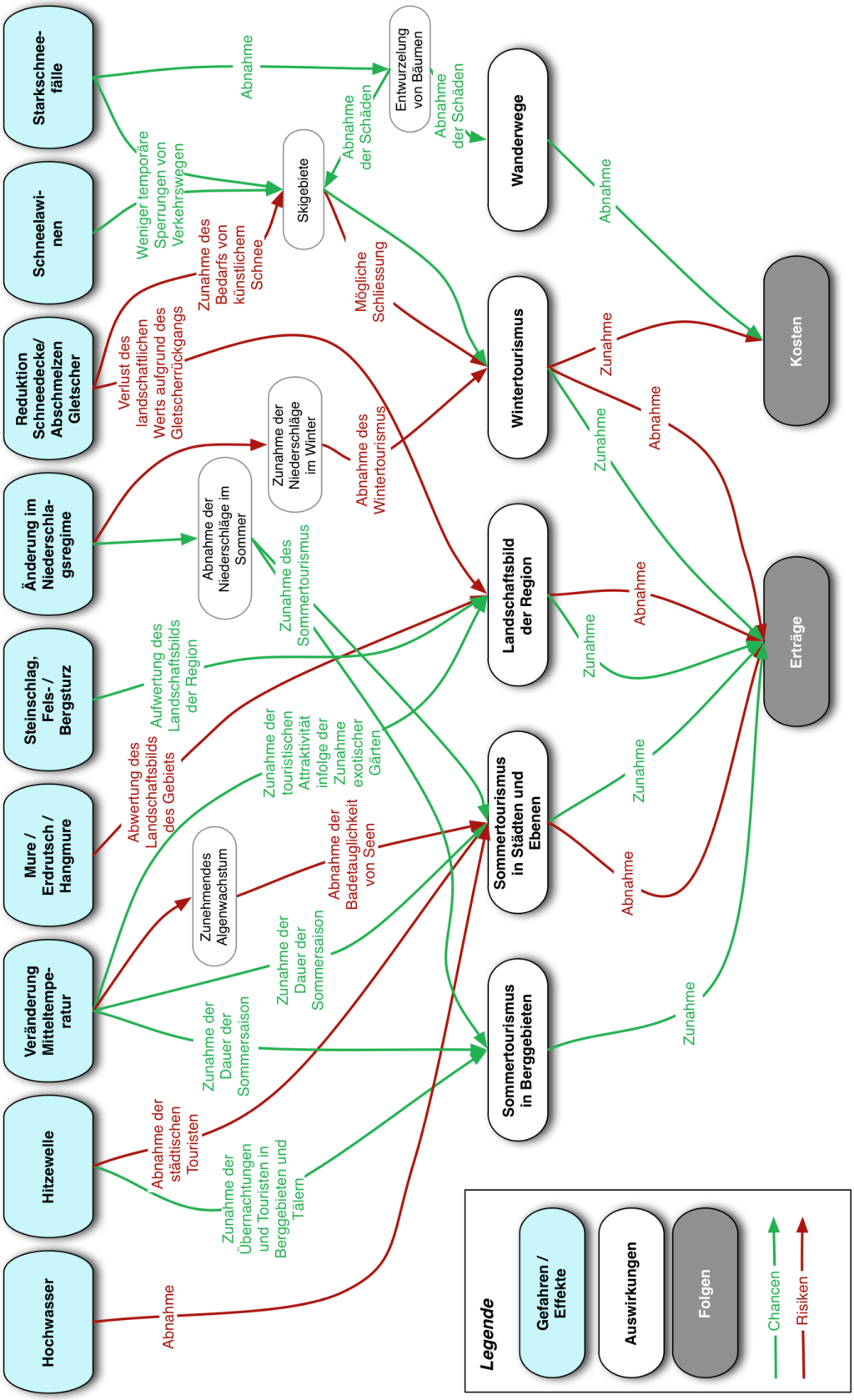


Abbildung 144: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Tourismus.

Schneelawinen

Qualitative Auswirkungen

Schliessung von Skianlagen

Die meisten Skigebiete sind über Bergstrassen erreichbar. Letztere können infolge von Lawinenniedergängen oder Lawinengefahr gesperrt werden. Zum Beispiel wurde im Winter 2013 - 2014 die vom Tal kommende Zugangsstrasse nach Bosco Gurin während einigen Tagen gesperrt, wodurch das dort gelegene Skigebiet eine Weile lang unzugänglich war.

Die Sperrung der Strassen führt oft zur vorübergehenden Schliessung der betroffenen Skigebiete, welche somit Ertragseinbussen hinnehmen müssen.

Die prognostizierte Abnahme der Lawinen unter beiden Szenarien wird zu einer Abnahme der Schliessung der Skigebiete führen. Die Arbeitsgruppe bewertet diese Chance für den Auswirkungsbereich Tourismus unter beiden Szenarien als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten.

Starkschneefälle

Quantitative Auswirkungen

Schäden an Wanderwegen

Im Tessin existieren sehr viele Wanderwege. Sie weisen eine Gesamtlänge von rund 4'000 km auf. Die Zahl der Wanderer nimmt zu (schweizweit kam es im Zeitraum 2008 bis 2014 zu einem Anstieg um 1.4 %). Schäden an Wanderwegen sind meist die Folge von Naturgefahrenereignissen, respektive von umfallenden Bäumen. Die Schäden ereignen sich im Winter und werden in der Regel im Frühjahr erkannt, unmittelbar vor Beginn der Sommersaison. Rund die Hälfte (50 %) der Tessiner Wanderwege befinden sich im Wald, wo am meisten Unterhaltsarbeiten gemacht werden müssen und wo es zu den meisten Schäden kommt. Oberhalb von 2000 m ü. M. sind deutlich weniger Schäden zu verzeichnen (Sommer, Amacher, & Buffat, 2011). Die Entwurzelung von Bäumen wird primär von zwei Naturgefahren bewirkt: Starkschneefälle überwiegend aus Nassschnee und starke Winde. Da es nicht möglich ist, die umgefallenen Bäume einer bestimmten Naturgefahr zuzuordnen und da die Kosten dieser Schäden eher gering sind im Vergleich zu anderen Auswirkungen auf den Tourismus, werden die Schäden an Wanderwegen durch umgefallene Bäume ausschliesslich für die Gefahr/Effekt „Starkschneefälle“ abgehandelt.

Im Tessin führten Starkschneefälle im Winter 2013-2014 zu grossen Waldschäden und damit auch zu Schäden an Wanderwegen. Im Frühjahr 2014 lag die Summe der Schäden an Wanderwegen bei 210‘000 Fr. (TicinoSentieri, N. Barudoni); normalerweise belaufen sich die jährlichen Schäden auf weniger als die Hälfe dieses Betrags.

Der Winter 2013-2014 ist somit als Extremereignis zu klassifizieren. Der Erwartungswert der Schäden an Wanderwegen im Tessin liegt bei ca. 100‘000 Fr. pro Jahr. Als Vergleich: die Kosten für den Unterhalt der Wanderwege belaufen sich auf ca. 4 Mio. Fr pro Jahr. Diese Kosten umfassen den laufenden Unterhalt, die Wiederinstandsetzungen, die Ausschilderung, die Planung, die Administration und das Material (Sommer, Amacher, & Buffat, 2011).

Unter den beiden Szenarien schwach und stark ist mit einer Abnahme der Starkschneefälle unterhalb von 1‘900 m ü. M. zu rechnen. Da die meisten Schäden an Wanderwegen in bewaldetem Gebiet zu verzeichnen sind, wird davon ausgegangen, dass die Schäden proportional zu den Starkschneefällen abnehmen. Das Szenario schwach prognostiziert eine Abnahme um 20 %, das Szenario stark um 40 % (vgl. Kapitel 4.5.6).

Die grösste Unsicherheit in Bezug auf die Schäden an Wanderwegen (unter dem Referenz- und den zukünfigen Szenarien) ist darauf zurückzuführen, dass diese Schäden einzig der Gefahr Starkschneefälle zugeordnet werden. Der Anteil an Schäden infolge von starken Winden, deren zukünftige Entwicklung momentan nicht prognostizierbar ist, wird somit weggelassen. Unter dem Referenzszenario kommt ausserdem die Unsicherheit aufgrund des Mangels an mehrjährigen Daten und der jährlichen Schwankungen hinzu; unter diesem Szenario ist von einer **geringen** Unsicherheit auszugehen. Bei den Projektionen in die Zukunft müssen zusätzlich die Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung der Starkschneefälle beachtet werden. Daraus ergibt sich für beide Szenarien eine **mittlere** Unsicherheit.

Qualitative Auswirkungen

Schliessung von Skigebieten

Starkschneefälle sind die wichtigste Ursache für umgestürzte Bäume. Diese können (direkt und indirekt) Verkehrsverbindungen in Skigebiete versperren. Dadurch kann es zur kurzfristigen Schliessung des betroffenen Skigebiets kommen.

Starkschneefälle können auch den Betrieb von Seilbahnen beeinträchtigen. Falls die betroffene Anlage unten im Tal liegt, kann das Skigebiet nicht mehr erreicht werden und somit zu Ertragseinbussen führen.

In Zukunft (Zeithorizont 2060) ist unterhalb von 1‘900 m ü. M. (für Skigebiete relevante Höhe) mit einer Abnahme der Starkschneefälle zu rechnen; als Folge werden auch die temporären Schliessungen der Skigebiete abnehmen. Die Arbeitsgruppe wertet diese Chance für den Auswirkungsbereich Tourismus (sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark) als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Chancen.

Hochwasser

Qualitative Auswirkungen

Abnahme des Herbsttourismus

Der Tessiner Tourismus zählt auch im Herbst eine bedeutende Anzahl Touristen. In dieser Zeit können die für die Jahreszeit typischen langanhaltenden Starkniederschläge zu Hochwasser und sogar zur Überschwemmung des Lago Maggiore und/oder des Luganersees führen. Unter dem Szenario stark wird angenommen, dass es mehr Hochwasser geben wird, wodurch es auch zu mehr Überschwemmungen kommt. Da ein grosser Teil der Touristen sich in den Städten Locarno und Lugano sowie anderen Gebieten in Seenähe aufhalten, wird im 2060 der Herbsttourismus möglicherweise abnehmen.

Unter dem Szenario schwach sind keine Änderungen der Hochwasser prognostiziert; die Auswirkung auf den Tourismus ist somit als **nicht relevant** zu beurteilen. Unter dem Szenario stark wird hingegen mit einer Zunahme um 40 % gerechnet (vgl. Kapitel 4.5.8), es ist somit von einer Abnahme des Herbsttourismus auszugehen. Da die Dauer der Überschwem-

mung von Seen in der Regel limitiert ist, hat die Arbeitsgruppe dieses Risiko für den Auswirkungsbereich Tourismus als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken eingestuft.

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Qualitative Auswirkungen

Erträge im Berggebiet

Das Tessin bietet nebst den Seen ein breites Ausflugsangebot im Berggebiet. Bis zum Zeithorizont 2060 wird mit einer Zunahme der Naturgefahren Mure, Erdrutsch, Hangmure gerechnet (vgl. Kapitel 4.5.4), welche zu einer verringerten Attraktivität der Berggebiete führt. Dies wirkt sich auch auf den Tourismus aus. Es ist jedoch zu erwähnen, dass sich diese Gefahren hauptsächlich im Herbst ereignen, in einer Zeit, in der weniger Touristen anwesend sind.

Die Arbeitsgruppe schätzt das Risiko unter beiden zukünftigen Szenarien als **deutlich geringer** in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken ein.

Änderung im Niederschlagsregime

Die Schwankungen der Übernachtungszahlen hängen von verschiedenen Faktoren ab (reales BIP, der Wechselkurs des Schweizer Franken etc.). Einer dieser Faktoren ist das Wetter. Obwohl es nicht möglich ist, die genauen Auswirkungen der meteorologischen Bedingungen auf die Anzahl Übernachtungen zu erfassen, ist sicher zu bestätigen, dass in sonnigen und trockenen Monaten mehr Touristen registriert werden.

Heute entscheidet sich der grösste Teil der Touristen (insbes. jene der Alpennordseite der Schweiz) spontan für ein paar Tage ins Tessin zu reisen. Vor der Abreise informiert sich der Tourist in der Regel über die Wettervorhersagen und entscheidet daraufhin, zu reisen resp. nicht zu reisen. Aus diesem Grund sind ungünstige Witterungsverhältnisse sehr bedeutend für den Tourismus. Noch gilt das Tessin als „Sonnenstube“ der Schweiz, welche eine grosse Menge Touristen von Norden anzieht, in Erwartung höherer Temperaturen und mehr sonniger Tage.

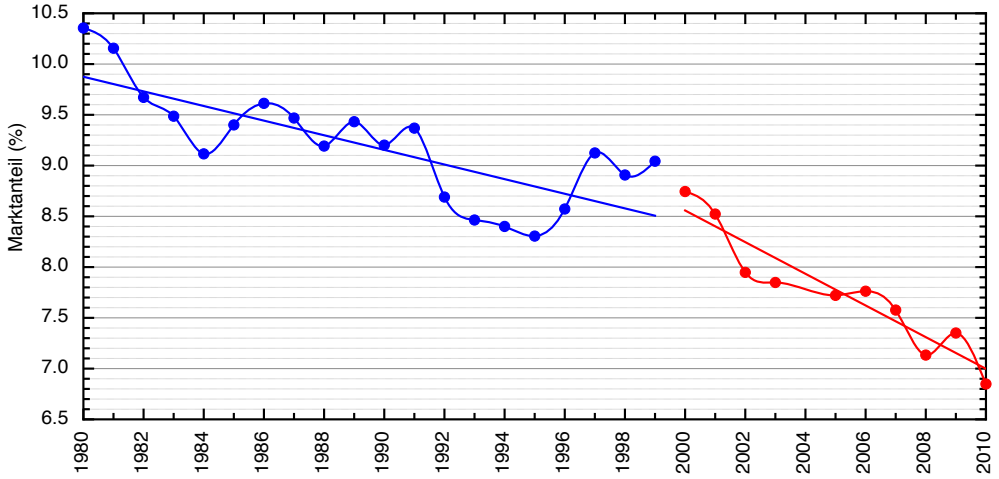


Abbildung 145: Marktanteil der Übernachtungen im Tessin in Bezug auf die gesamtschweizerische Anzahl Übernachtungen, mit Trendlinie vor und nach 2000 (Besomi, 2015).

Die meteorologischen Bedingungen beeinflussen den Tourismus insbesondere in jenen Perioden, in welchen die Erträge besonders hoch sind. Dazu gehören die Osterferien, das Pfingstwochenende und die Sommermonate Juli und August.

Ein Beispiel für den Zusammenhang zwischen den meteorologischen Bedingungen und der Anzahl Übernachtungen zeigen die Zahlen für die Jahre 2008 und 2009. Das 2008 war ein sehr regnerisches Jahr. Zwischen März und Oktober wurden insgesamt 94 Regentage gezählt, von denen 87 Tage über 1 mm Niederschlag aufwiesen (der Durchschnitt zwischen 2004 und 2007 liegt bei 70-75 Tagen). Zudem war die mittlere Sonnenscheindauer unter dem langjährigen Durchschnitt. Das 2009 war hingegen durch eine überdurchschnittlich lange Sonnenscheindauer und durch eine geringere Anzahl Regentage geprägt (24 Tage mit über 1 mm Niederschlag weniger als im Jahr 2008). In Abbildung 145 ist klar ersichtlich, dass der Marktanteil der Übernachtungen im Tessin (in Bezug auf jenen der Schweiz) im Jahr 2009 höher lag als 2008.

Quantitative Auswirkungen

Sommertourismus

In Anbetracht der Beziehung zwischen der Anzahl Übernachtungen im Tessin und den meteorologischen Bedingungen (u.a. Niederschläge), kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft der Sommertourismus infolge der erwarteten Abnahme der Niederschläge (um 7.9 % unter dem Szenario schwach und um 24.3 % unter dem Szenario stark) zunehmen wird (vgl. Kapitel 4.3.2).

Es ist jedoch zu erwähnen, dass der Einfluss des Niederschlags auf den Tourismus eng mit der Intensität des Niederschlags gekoppelt ist. Niederschläge geringer Intensität, aber über einen längeren Zeitraum anhaltend, haben einen grösseren Einfluss. Unter dem Szenario schwach ist keine Änderung der sommerlichen Starkniederschläge zu erwarten. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass deren Intensität gleich wie heute bleibt, während es zu einer Abnahme ihrer Dauer kommen wird. Unter dem Szenario stark wird dagegen mit einer Abnahme der Starkniederschläge um 5 % gerechnet.

Während der Sommersaison 2012 (März bis Oktober) zählte der Tessiner Tourismus 6’799'000 übernachtende Gäste (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014) und 3’374'000 Tagestouristen. Insgesamt gaben die Touristen 1'045 Mio. Fr. aus (vgl. Tabelle 75). Diese Erträge beinhalten auch die Ausgaben der übrigen Touristen (Einkauf, Casino, Durchfahrt etc.), deren Ausgaben nicht mit den meteorologischen Bedingungen korreliert sind.

Durch die Wetterabhängigkeit der Gästezahlen kann angenommen werden, dass eine speziell regnerischer Sommer (wie z.B. im Jahr 2014) zu Ertragseinbussen von rund 25 % führt, im Vergleich zu einem Sommer mit durchschnittlichen Niederschlägen. Dies unter der Annahme, dass die sozioökonomischen Bedingungen (Marktanteil, Frankenwert, etc.) nicht ändern. Angenommen dass ein besonders regnerischer Sommer ca. alle 5 Jahre auftritt (aktuelle Beispiele sind die Sommer 2008 und 2014), ergeben sich heute Kosten (im Sinne von Ertragseinbussen) infolge schlechten Wetters in der Höhe von ca. 52 Mio. Fr. pro Jahr.

Um die zukünftigen Szenarien herzuleiten, wird von einer umgekehrten Proportionalität zwischen der Wiederkehrperiode von regnerischen Sommern und der Abnahme der Niederschläge und der Starkniederschläge (nur unter dem Szenario stark) ausgegangen. So ergibt

sich eine Wiederkehrperiode von regnerischen Sommern unter dem Szenario schwach von 5.4 Jahren und unter dem Szenario stark von 6.2 Jahren. Diese Wiederkehrperioden entsprechen jährlichen Kosten von 48 Mio. Fr. (Szenario schwach) und 42 Mio. Fr. (Szenario stark).

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich die Daten auf nur ein Beobachtungsjahr beziehen (2012). Aufgrund der vielfältigen Faktoren, die die Besuche von Touristen beeinflussen, ist es kaum möglich, die Ertragseinbussen aufgrund der meteorologischen Bedingungen zu bestimmen. Die Arbeitsgruppe stuft die Unsicherheit als **gering** ein. Bei den Projektionen in die Zukunft nimmt die Unsicherheit weiter zu, dies aufgrund der unsicheren Berechnung der zukünftigen Zunahme des Tourismus in Zusammenhang mit Niederschlag und Starkniederschlag. Dies ergibt eine **mittlere** Unsicherheit.

Qualitative Auswirkungen

Wintertourismus

Durch den Zusammenhang zwischen der Anzahl Übernachtungen und den meteorologischen Bedingungen (Niederschlag) kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund des Klimawandels (Zunahme der Niederschläge um 5.8 % unter dem Szenario schwach und 32.4 % unter dem Szenario stark) der Wintertourismus abnehmen wird (vgl. Kapitel 4.3.2).

In der Wintersaison 2012 (November bis Februar) zählte der Tessiner Tourismus 1'428'000 übernachtende Gäste und 850'000 Tagesgäste (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Insgesamt haben sie Erträge im Umfang von 232 Mio. Fr. gebracht (vgl. Tabelle 75).

Die Erträge des Wintertourismus sind deutlich geringer als jene des Sommertourismus. Gleichwohl ist davon auszugehen, dass wenn die Anzahl Regentage zunimmt, sowohl die Attraktivität der Gebiete in Tallagen als auch jener, die sich zum Skifahren eignen, abnehmen würde. Die Skigebiete müssten Ertragseinbussen hinnehmen und zwar auch was den lokalen Tagestourismus anbelangt (Tessiner Einwohner). Das breite Unterhaltungsangebot des Kantons würde bei schlechtem Wetter die Bevölkerung dazu veranlassen, nicht Skifahren zu gehen.

Auf die Schwankungen des Schneevorkommens in den Skigebieten wird nicht in diesem, sondern im Kapitel „Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher“ eingegangen.

Die Arbeitsgruppe wertet für beide zukünftigen Szenarien dieses Risiko als mit den quantitativ ausgewerteten Risiken **vergleichbar** aus (welche von geringerem Ausmass in Bezug zu den Chancen sind).

Hitzewelle

Quantitative Auswirkungen

Bergtourismus

Bis 2060 wird unter beiden Szenarien eine beträchtliche Zunahme der Hitzewellen erwartet (vgl. Kapitel 4.5.12). Mit diesen wird auch der Bedarf an Erholungsgebieten (mit kühleren Temperaturen) zunehmen. Kühlere Erholungsgebiete werden primär von Einwohnern städtischer Gebiete sowohl des Tessins als auch des angrenzenden Italiens nachgefragt werden.

Die Nachfrage nach Erholung in Gebieten, wo kühlere Temperaturen vorherrschen, wird eine Chance für die Berg- und ländlichen Regionen des Tessins sein. Dort werden die Temperaturen auch im 2060 relativ mild bleiben. Diese Gebiete sind nebst der lokalen städtischen Bevölkerung sowohl von der angrenzenden Lombardei als auch vom Norden der Schweiz her leicht zugänglich.

In der Sommersaison 2012 (März bis Oktober) wurden im Gebiet Bellinzona und Täler (vgl. Kapitel 5.7.1) 872'000 übernachtende- und 1'729'000 Tagesgäste verzeichnet (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Diese Gäste gaben insgesamt rund 251 Mio. Fr. aus (vgl. Tabelle 75).

Die Berechnung der Änderungen unter den zukünftigen Szenarien basiert auf der Annahme, dass sich in Städten und Tallagen während auftretenden Hitzewellentagen die Ausgaben der Touristen in Berggebieten verdoppeln. Unter dem Referenzszenario (im Mittel 22 Hitzewellentage/Jahr) wird von Mehrerträgen von 21 Mio. Fr. ausgegangen. Unter dem Szenario schwach wird eine Zunahme der Hitzewellentage um 97 % erwartet (vgl. Kapitel 4.5.12) und es wir mit Mehrerträgen von 41 Mio. Fr. gerechnet. Unter dem Szenario stark beträgt die Zunahme 212 % und die Mehrerträge belaufen sich auf 64 Mio. Fr.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ist primär auf die kurze Beobachtungszeit (nur das Jahr 2012) und die Berücksichtigung der Erträge nur für Berggebiete zurückzuführen, sie wird als **gering** bewertet. Für die Projektion in die Zukunft kommen die Unsicherheit in der Berechnung der Zunahme des Bergtourismus infolge von Hitzewellen und die nicht genau bekannte zukünftige Entwicklung der Hitzewellen hinzu, so dass eine **mittlere** Unsicherheit resultiert.

Qualitative Auswirkungen

Tourismus in Städten und Tallagen

In Städten und Ebenen stellt der Anstieg der Hitzewellen ein potentielles Risiko für den Auswirkungsbereich Tourismus dar. Während dieser Zeit ist es schwierig, sich zu erholen und während der Nacht zu schlafen. Deshalb wird mit einer Abnahme der touristischen Nachfrage gerechnet. Es werden vor allem die auf Hitzewellen am empfindlichsten reagierenden Gäste abnehmen (ältere Menschen und Kleinkinder).

Für die im Tessin gelegenen Städte und Ebenen ist dieses Risiko weniger bedeutend im Vergleich zu anderen Schweizer- und europäischen Ortschaften. Der grösste Teil der touristischen Unterkünfte liegt in der Nähe von Seen, welche die Auswirkung von Hitzewellen abschwächen, dank z.B. des Land-See-Windsystems. Ausserdem verfügt der Grossteil der Unterkünfte im Tessin über Klimaanlagen, welche das Schlafen in sehr heissen Nächten durchaus erleichtern.

In Abbildung 146 sind die Übernachtungen im Tessin während den Monaten Juni, Juli und August in den Sommern 2002 und 2005 (Sommer mit durchschnittlicher Anzahl Hitzewellentage) und 2003 (Sommer mit überdurchschnittlich vielen Hitzewellentagen) dargestellt. In der Abbildung ist ersichtlich, dass im 2003 etwas weniger Übernachtungen zu verzeichnen waren, als in den anderen Jahren. Der Unterschied ist aber nicht besonders markant, so dass neben den Hitzewellen durchaus auch sozioökonomische Faktoren den Unterschied in den Übernachtungszahlen erklären könnten.

In der Sommersaison 2012 (März bis Oktober) wurden in den Gebieten Lago Maggiore und Täler, Luganersee und Mendrisiotto ca. 5’532'000 übernachtende Gäste und 5’927'000 Tagesgäste registriert (Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft, 2014). Deren Ausgaben beliefen sich auf 1'144 Mio. Fr. (vgl. Tabelle 75). Die Erträge dieser Saison erweisen sich als vergleichsweise hoch.

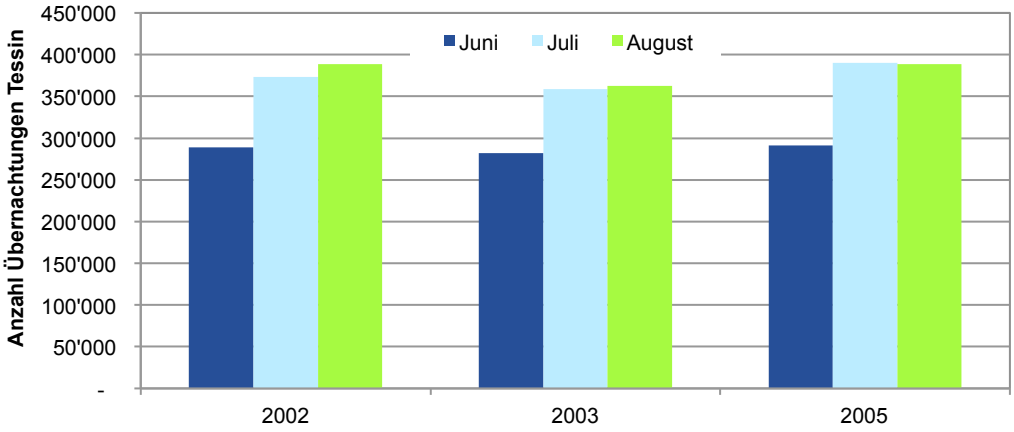


Abbildung 146: Übernachtungen im Tessin während den Sommermonaten Juni, Juli und August der Jahre 2002. 2003 und 2005 (O-Tur, 2016).

Die Arbeitsgruppe wertet unter beiden zukünftigen Szenarien dieses Risiko als **vergleichbar** in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten Risiken für den Auswirkungsbereich Tourismus aus.

Auswirkungen auf die Fischerei

Die tiefen Pegel und die hohen Wassertemperaturen der Seen während den Hitzewellen wirken sich auf das aquatische Ökosystem und somit auch auf die Fischerei aus. In klein- bis mittelgrossen Gewässern können Hitzewellen u.a. Fischsterben bewirken.

Auch der Bestand von Fischen in Flüssen hängt von Faktoren ab, welche aufgrund des Klimawandels ändern könnten, wie z.B. der Abfluss und die Temperatur von Oberflächengewässern.

Die Auswirkungen auf die Gewässerorganismen sind sehr relevant für das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Arten dieser Ökosysteme. Deshalb werden sie im Rahmen des Auswirkungsbereich Biodiversität im Detail ausgewertet (vgl. Kapitel 5.9).

Im Tessin stellt die Fischerei primär eine Freizeitaktivität dar. Deren Bedeutung ist für den Tourismus eher gering. Die Arbeitsgruppe bewertet dieses Risiko deshalb für beide zukünftigen Szenarien als **deutlich geringer** im Vergleich der quantitativ ausgewerteten Risiken.

Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher

Quantitative Auswirkungen

Momentan liegt die Grenze der natürlichen Schneesicherheit im Tessin auf 1'500 m ü. M. Die Talstationen der Tessiner Skigebiete liegen in der Regel zwischen 890 und 1'460 m ü. M. (deutlich tiefer gelegen als der schweizweite Durchschnitt zwischen 1’600-

2'500 m ü. M.). Sie werden somit besonders vom erwarteten Schneemangel betroffen sein (Zegg, Küng, Bachmann, & Hubert, 2008). Schon heute liegen rund 37 % der Skianlagen des Tessins unterhalb der Grenze der natürlichen Schneesicherheit. Dieser Anteil könnte sich in Zukunft bis auf 100 % erhöhen (unter dem Szenario stark). Unter den zukünftigen Szenarien kommt es zu einer markanten Abnahme der Neuschneetage in allen Höhenlagen (vgl. Kapitel 4.5.5).

Der Vergleich der wichtigsten Skigebiete des Tessins (vgl. Tabelle 77) zeigt, dass in allen Gebieten bis 2060 grosse Probleme durch Schneemangel eintreten werden (primär aufgrund der Zunahme der Mitteltemperatur). Die wenigen Schneefälle, welche sich ereignen werden, werden zudem hauptsächlich aus Nassschnee bestehen. Dieser ist für den Schneesport eher ungeeignet. Insbesondere das Skigebiet von Campo Blenio, das sich bis auf eine maximale Höhe von 1'450 m ü. M. erstreckt, wird von dieser Problematik betroffen sein.

Die Konsequenzen dieser Änderungen sind die mögliche definitive Schliessung der Anlagen, welche unterhalb von 2‘000 m ü. M. liegen (Abnahme der Erträge) und der Anstieg der für die künstliche Beschneiung notwendigen Kosten (Betriebskosten, Bau von künstlichen Becken, Bedarf von neuen Beschneiungsanlagen, etc.).

Skigebiet	Höhe (m ü. M.)
Airolo-Pesciüm	1’175 – 2’256
Bosco Gurin	1’480 – 2’400
Carì	1’400 – 2’300
Nara	875 – 2’153
Campo Blenio	1’250 – 1’450

Tabelle 77: Minimale und maximale Höhenlage der wichtigsten Skigebiete des Tessins.

Zunahme der Kosten zur künstlichen Beschneiung

Im Mittel werden in Airolo und Bosco Gurin (grösste Skigebiete des Tessins) pro Jahr rund 118 Tage mit Schneebedeckung registriert (MeteoSchweiz, 2012b). Angenommen, die Skisaison geht von Dezember bis März (120 Tage), weisen diese Gebiete heute an 98 % der Saison eine Schneebedeckung auf.

Heute sind im Tessin nur wenige Beschneiungsanlagen vorhanden. Nur ein kleiner Teil der Pisten wird somit künstlich beschneit. Die Stromkosten, die sich aus der künstlichen Beschneiung ergeben (klimasensibler Faktor, im Unterschied zu den fixen Anschaffungskosten der bestehenden Infrastruktur) betragen allein für das Gebiet Campo Blenio ca. 23‘000 Fr. pro Jahr (Cancelli, 2013). Bei einer beschneiten Fläche von 4.8 ha in Campo Blenio resp. 27 ha im ganzen Kanton (Zegg, Küng, Bachmann, & Hubert, 2008), ergeben sich Stromkosten für die Beschneiung von 130‘000 Fr. pro Jahr. In Anbetracht der Reduktion der Schneedecke um 10 % unter dem Szenario schwach und um 20 % unter dem Szenario stark (vgl. Kapitel 4.5.5), ist in den Tessiner Skigebieten mit 106 resp. 94 Tagen (Szenario schwach resp. stark) mit Schneebedeckung zu rechnen. Unter der Annahme, dass an Tagen mit Schneebedeckung im Vergleich zu jenen ohne nur 30 % des Stroms verbraucht wird, ergibt dies einen Anstieg der Beschneiungskosten um 19 % unter dem Szenario schwach und

38 % unter dem Szenario stark. Dies beruht auf der Voraussetzung, dass für den Wintersport nicht bloss eine Schneedecke da sein, sondern dass letztere auch genügend mächtig (30 – 50 cm) sein muss (Abegg, 2012).

Generell ist die Beschneiung nur bei genügend tiefen Temperaturen möglich. Die Zunahme der Mitteltemperatur kann den Betrieb dieser Anlagen verunmöglichen, so dass die Schliessung der betroffenen Skigebiete notwendig wird (vgl. nächstes Kapitel).

Die künstliche Beschneiung braucht zudem eine grosse Menge an Wasser. Für 1 ha sind mit 600 bis 1'500 m^3 Wasser zu rechnen (Abegg, 2012). Trotz der prognostizierten Zunahme der Abflüsse im Winter (aufgrund des geringeren in der Schneedecke gespeicherten Wassers und der Zunahme der Niederschläge) wird möglicherweise der zunehmende Wasserbedarf zum künstlichen Beschneien zu Konflikten mit anderen Nutzungen wie z.B. dem Wasserbedarf zur Stromproduktion von Wasserkraftwerken führen (Strom könnte nämlich zunehmend im Winter produziert werden).

Die Berechnung der zukünftigen Beschneiungskosten berücksichtigt den Bau von neuen Beschneiungsanlagen nicht (als Anpassungsmassnahme zu betrachten), sondern geht einzig auf den intensiveren Gebrauch der bereits bestehenden Anlagen aus (heutige sozioökonomische Situation).

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ergibt sich aus der Extrapolation der Beschneiungskosten von Campo Blenio auf die Gesamtheit aller Anlagen im Tessin, sowie aus den jährlichen Schwankungen der Kosten. Es ist deshalb von einer **geringen** Unsicherheit auszugehen. Bei der Projektion in die Zukunft kommen die nicht genau bekannte Entwicklung der Schneedecke und die Korrelation zwischen dem Beschneiungsbedarf und den Tagen mit Schneebedeckung hinzu, so dass insgesamt von einer **mittleren** Unsicherheit ausgegangen werden muss.

Ertragseinbussen von Skigebieten

Winter mit wenig Schnee verursachen, nebst dem höheren Wasserbedarf zur Beschneiung, eine Abnahme der Dauer der Skisaison. Die kleineren und eher tiefgelegenen Skigebiete (wie jene des Tessins) sind speziell empfindlich bezüglich dieser Problematik. Die Zeitspanne, in der die Skigebiete die grössten Erträge aufweisen, ist jene zwischen Weihnachten und Dreikönige. In diesem Zeitraum werden in den meisten Skigebieten ca. 20 % des Jahresertrags erwirtschaftet (Abegg, 2012). Für die Tessiner Skigebiete ist dieser Anteil besonders wichtig, da die Skisaison bereits früh endet (im Tessin zieht das Frühjahr früher als z.B. in Graubünden ein) und da in dieser Zeit am meisten Saison-Abos verkauft werden. Es wird somit geschätzt, dass in diesem Zeitraum im Tessin ca. 50 % der jährlichen Erträge anfallen.

In schneearmen Tessiner Wintern (vergleichsweise eher tief liegende Skigebiete und eher milde winterlichen Temperaturen), ist es möglich, dass die Anlagen an Weihnachten nicht geöffnet werden können. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass in diesen Wintern die Erträge ca. 50 % tiefer liegen als im langjährigen Mittel. Ausserdem kann angenommen werden, dass solche Winter eine Wiederkehrperiode von 5 Jahren aufweisen.

Die mittleren Erträge der Tessiner Skigebiete (Airolo, Bosco Gurin, Nara, Campo Blenio und Carì) im Zeitraum 2009 bis 2013 beliefen sich auf 5.9 Mio. Fr. pro Jahr (Dipartimento Finanze e Economia Canton Ticino, 2014) und (Valbianca SA, 2012). Da ca. 80 bis 90 % der Besucher der Tessiner Skigebiete Einheimische sind, welche nicht übernachten, kann davon

ausgegangen werden, dass die Erträge der Skigebiete auch repräsentativ für die geringen Erträge der mit dem Skitourismus gekoppelten Übernachtungen sind.

Die mittlere jährliche Abnahme der heutigen Erträge aufgrund von Schneemangel beträgt ca. 600‘000 Fr. (Gesamte Erträge von 5.36 Mio. Fr.). Unter den zukünftigen Szenarien kann hingegen angenommen werden, dass das Verhältnis der Wiederkehrperiode von schneearmen Wintern unter dem Referenzszenario und den zukünftigen Szenarien dem Verhältnis der Anzahl Neuschneetage in San Bernardino (repräsentativ für die Tessiner Skigebiete, vgl. Kapitel 4.4.2) unter dem Referenzszenario und den zukünftigen Szenarien entspricht. Es kann somit angenommen werden, dass unter dem Szenario schwach die Wiederkehrperiode von schneearmen Wintern bei 4 Jahren liegt (was einem Verlust von ca. 750‘000 Fr. pro Jahr entspricht), während unter dem Szenario stark diese bei 2.7 Jahren liegt (was einem Verlust von ca. 1.1 Mio. Fr. pro Jahr entspricht). So kann unter dem Szenario schwach von Gesamterträgen der Skigebiete von 5.2 Mio. Fr./Jahr und unter dem Szenario stark 4.9 Mio. Fr. pro Jahr ausgegangen werden.

Unter dem Referenzszenario ist die Unsicherheit auf die nicht genau bekannte Abnahme der Erträge in schneearmen Wintern und auf die Wiederkehrperioden dieser Winter zurückzuführen. Sie wird als **gering** eingestuft. Bei den Projektionen für die Zukunft ergibt sich die Unsicherheit zusätzlich aus der Berechnung der Änderung der zukünftigen Schneedecke und aus der Berechnung der Änderung der Wiederkehrperioden der schneearmen Winter; die Unsicherheit ist hier **mittel.**

Qualitative Auswirkungen

Verlust an landschaftlicher Attraktivität aufgrund des Gletscherrückgangs

Im Sommer ermöglichen bestehende Wanderwege die Aussicht auf Gletscher. Touristisch besonders wichtig sind der Adula- und der Basodinogletscher. Durch die Zunahme der Mitteltemperatur werden weite Bereiche der Gletscher abschmelzen, wodurch der Anblick der Gletscher touristisch möglicherweise an Attraktivität verliert. Unter dem Szenario schwach ist eine Abnahme der Eisfläche um 30 % und des Volumens um 50 % zu erwarten. Unter dem Szenario stark wird hingegen mit einer Abnahme der Fläche um 50 % und des Volumens um 70 % vermutet (vgl. Kapitel 4.5.5).

Die Arbeitsgruppe kategorisiert dieses Risiko - welches auch andere ans Tessin angrenzende Gebiete betrifft – als **deutlich geringer** (für beide Szenarien) in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken.

Zunahme der Dauer der Sommersaison im Berggebiet

Die Zunahme der Mitteltemperatur wird in den Bergen zu einer Abnahme der Tage mit Schneebedeckung führen. Unter dem Szenario schwach beträgt diese Abnahme ungefähr 20 Tage pro Jahr in Gebieten oberhalb von 1'500 m ü. M., während das Szenario stark mit einer Abnahme von 40 Tagen pro Jahr rechnet (vgl. Kapitel 4.5.5).

Diese Abnahme wird im Berggebiet zu einer Verlängerung der Sommersaison führen, mit einer daraus folgenden Zunahme des Tourismus.

Da auf die Zunahme der Erträge im Berggebiet infolge der längeren Sommersaison bereits im Rahmen der Gefahr/des Effekts „Veränderung Mitteltemperatur“ eingegangen wird, hat

die Arbeitsgruppe entschieden, diese Chance als **nicht relevant** (für beide Szenarien) einzustufen.

Steinschlag/Fels-/Bergsturz

Qualitative Auswirkungen

Erträge im Berggebiet

Das Tessin weist nebst den Regionen um die grossen Seen auch ein breites Ausflugsangebot im Berggebiet auf. Es wird angenommen, dass Steinschlagereignisse (häufigstes Phänomen der Sturzprozesse) in tiefen Lagen bis 2060 abnehmen werden (unterhalb von 1'500 m ü. M.). Da der grösste Teil der Wege und touristischen Gebiete des Tessins in tiefen Lagen liegt, kann vermutet werden, dass die Abnahme dieser Gefahr die touristische Attraktivität dieser Gebiete aufwertet und eine Zunahme des Tourismus bewirkt.

Die Arbeitsgruppe stuft für den Auswirkungsbereich Tourismus bei beiden zukünftigen Szenarien diese Chance als **deutlich geringer** ein, verglichen mit den quantitativ ausgewerteten Risiken.

Veränderung Mitteltemperatur

Quantitative Auswirkungen

Zunahme der Dauer der Sommersaison

Die Saison der Freibäder in Tallagen erstreckt sich im Tessin von ca. Mitte Mai bis Mitte September, jene der meisten Berghütten von Juni bis Oktober. Infolge der Zunahme der Mitteltemperatur könnte die Dauer der erwähnten Saisons ebenfalls zunehmen. Generell kann bei einer Verlängerung der warmen Jahreszeit von einem Anstieg des Herbst- und des Frühjahrstourismus, sowohl im Berggebiet als auch in Tallagen, ausgegangen werden (vor allem lokaler Tourismus). In Berggebieten könnten sich die Touristen ausserdem vermehrt in höhere Lagen begeben.

Im Tessin gibt es 22 insbes. für den Sommertourismus geeignete Ausflugsziele in Berggebieten (hier Sommer-Ausflugsziele genannt), von denen die wichtigsten die folgenden sind: Monte Generoso, Monte Tamaro, Cardada, San Salvatore, Monte Lema, Madonna del Sasso, Monte Bré, Ritom, Mornera, Monti di Comino e Zott-Salei. Insgesamt erwirtschafteten diese einen Gesamtertrag von 14.7 Mio. Fr. (Zegg, Küng, Bachmann, & Hubert, 2008).

Unter der Annahme, dass sich einige Touristen an jenen Tagen in die Berge begeben, an welchen in den Tallagen Temperaturen von über 25°C erreicht werden (Sommertage), rechnen wir unter dem Referenzszenario mit insgesamt 66 Tagen (vgl. Kapitel 4.4.1).

Die Zunahme der Mitteltemperatur wird zu einem Anstieg der Sommertage um 35 % (89 Tage/Jahr) unter dem Szenario schwach und um 70 % (112 Tage/Jahr) unter dem Szenario stark führen. Da die Erträge der Sommer-Ausflugsziele mit diesen Tagen korrelieren, kann von einer zur Anzahl Sommertage proportionalen Steigerung der Erträge ausgegangen werden.

Die Unsicherheit unter dem Referenzszenario ergibt sich primär daraus, dass sich die Daten nur auf ein Jahr beziehen (2060); sie ist als **gering** zu bewerten. Bei den Projektionen in die

Zukunft nimmt die Unsicherheit zu aufgrund der unsicheren Berechnung der Erträge der Sommer-Ausflugsziele in Zusammenhang mit der Zunahme der Mitteltemperatur sowie der Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung der Sommertage. Daraus ergibt sich eine **mittlere** Unsicherheit.

Qualitative Auswirkungen

Auswirkungen auf die Qualität und die Quantität des Badewassers

Aufgrund der hohen Temperaturen im Sommer sowie der gleichzeitigen Abnahme der Niederschläge kommt es zu geringeren Abflüssen, tieferen Seepegeln und vor allem zu hohen Wassertemperaturen.

Die Zunahme der Wassertemperaturen der Seen bewirkt günstige Bedingungen für extremes Algenwachstum („Algenblüte“). Die Bildung von oft toxischen Algen beeinträchtigt die Qualität des Seewassers und kann somit negative Auswirkungen auf den Tourismus haben. Ausserdem führt die höhere Temperatur der Seen zu einer geringeren Badequalität des Wassers (insbes. geringerer Abkühleffekt).

Die kleinen und mittelgrossen Gewässer reagieren schneller auf höhere Temperaturen und auf abnehmenden Niederschlag. Als grosses Risiko in Zusammenhang mit dem Klimawandel ist somit der mögliche Wassermangel in badetauglichen Flüssen wie der Maggia oder Verzasca und anderen kleineren Flüssen zu werten. Dieser Effektkönnte zudem zusätzlich verstärkt werden durch die geringeren Wasserspeicherung der abnehmenden Schneedecke und die kleineren Volumina von Gletschern, deren Schmelzwasser im Sommer bis anhin fürs Baden ausreichende Pegel gewährleisten. Falls jedoch in Zukunft die Pegel der erwähnten Flüsse genügend hoch sind, wären sie attraktiver um dort zu baden, weil ihre Wassertemperaturen tiefer liegen als jene der grossen Seen.

Die Arbeitsgruppe wertet für den Auswirkungsbereich Tourismus unter beiden zukünftigen Szenarien die erwähnten Risiken als **vergleichbar** mit den quantitativ ausgewerteten Risiken aus.

Verbreitung exotischer Mücken

Die Zunahme der Mitteltemperaturen sowie die Änderung weiterer klimatischer Faktoren kann die Verbreitung von gebietsfremden Mücken im Tessin begünstigen (vgl. Kapitel 5.2.2). Eine dieser Mücken ist die Asiatische Tigermücke, welche einerseits ein potentieller Vektor exotischer Krankheiten ist (Gelb-, Dengue- und Chikungunyafieber) und andererseits lästigen Juckreiz sowie bei gewissen Personen Allergien verursacht.

Die grössere Verbreitung von Mücken kann auch von Touristen als lästig empfunden werden (vor allem an den Ufern des Lago Maggiore, in der Magadinoebene und im Mendrisiotto) und somit auch die Erträge des Tourismus verringern. Die Arbeitsgruppe wertet dieses Risiko bei beiden zukünftigen Szenarien als **geringer** in Bezug auf die quantitativ ausgewerteten Risiken ein.

Klimawandel in Bezug auf die restliche Schweiz

Das Tessin könnte durch den Klimawandel seine klimatischen Vorzüge gegenüber der restlichen Schweiz verlieren. Dies würde eine Abnahme des inländischen Tourismus zur Folge haben. Gleichzeitig könnte dies eine Zunahme ausländischer Touristen (z.B. Italiener, Ara-

ber) zur Folge haben. Das Tessin könnte zu einem Reiseziel für Touristen werden, welche nur wenige Tage in der Schweiz verbringen.

Die Arbeitsgruppe wertet diese Chance für beide Szenarien als **deutlich geringer** im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken aus.

5.7.3. Quantitative Analyse

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 147 sind die Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Tourismus zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die zugehörigen Werte finden sich in Tabelle 78.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenariostark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Starkschneefälle									
Schäden an Wanderwegen	-0.08	-0.10	-0.13	-0.04	-0.08	-0.16	-0.03	-0.06	-0.12
Änderung im Niederschlagsregime									
Abnahme des Sommertourismus aufgrund schlechten Wetters	-41.8	-52.2	-67.9	-24.2	-48.4	-96.8	-21.2	-42.4	-84.9
Hitzewelle									
Mehrerträge während Hitzewellen in Berggebieten	16.5	20.7	26.8	20.4	40.8	81.5	32.2	64.4	128.8
Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher									
Kosten zur künstlichen Beschneiung	-0.10	-0.13	-0.16	-0.08	-0.15	-0.30	-0.09	-0.17	-0.35
Erträge von Skigebieten	4.3	5.4	7.0	2.6	5.2	10.4	2.4	4.9	9.7
Veränderung Mitteltemperatur									
Verlängerung der Sommersaison	11.8	14.7	19.1	9.9	19.8	39.6	12.5	24.9	49.9
Bilanz	**-36**	**-12**	**11**	**-64**	**17**	**107**	**-38**	**52**	**167**

Tabelle 78: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für den Auswirkungsbereich Tourismus. Es sind sowohl die heutigen Kosten/Erträge (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Gefahren/Effekte stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken.***

Eine der grossen Chancen im Auswirkungsbereich Tourismus wird sich in Zukunft für den Tourismus in den Tälern und Berggebieten ergeben. Es kann angenommen werden, dass die Erträge dieser Gebiete zunehmen, sowohl aufgrund der Hitzewellen in den Städten (in den Bergen werden die Temperaturen angenehmer sein) als auch aufgrund der Zunahme der Mitteltemperatur, welche zu einer Verlängerung des Betriebs der Bergbahnen führt.

Eine zweite relevante Chance ergibt sich aufgrund der Abnahme der sommerlichen Niederschläge (bei gutem Wetter sind mehr Touristen zu verzeichnen). Die Abnahme der Schäden

an Wanderwegen infolge der Abnahme von Starkschneefällen und des dadurch abnehmenden Schneebruchs wird hingegen eine Chance von eher untergeordneter Rolle sein.

Die quantitativ ausgewerteten Risiken hängen in erster Linie mit den Skigebieten zusammen. Die höheren Mitteltemperaturen und die geringeren Schneemengen werden zu länger andauernden Schliessungen und höheren Beschneiungskosten von Skigebieten führen. Diese Risiken weisen jedoch eine deutlich geringere Bedeutung auf als die zuvor erwähnten Chancen (die Tessiner Skigebiete sind touristisch vergleichsweise wenig bedeutend).

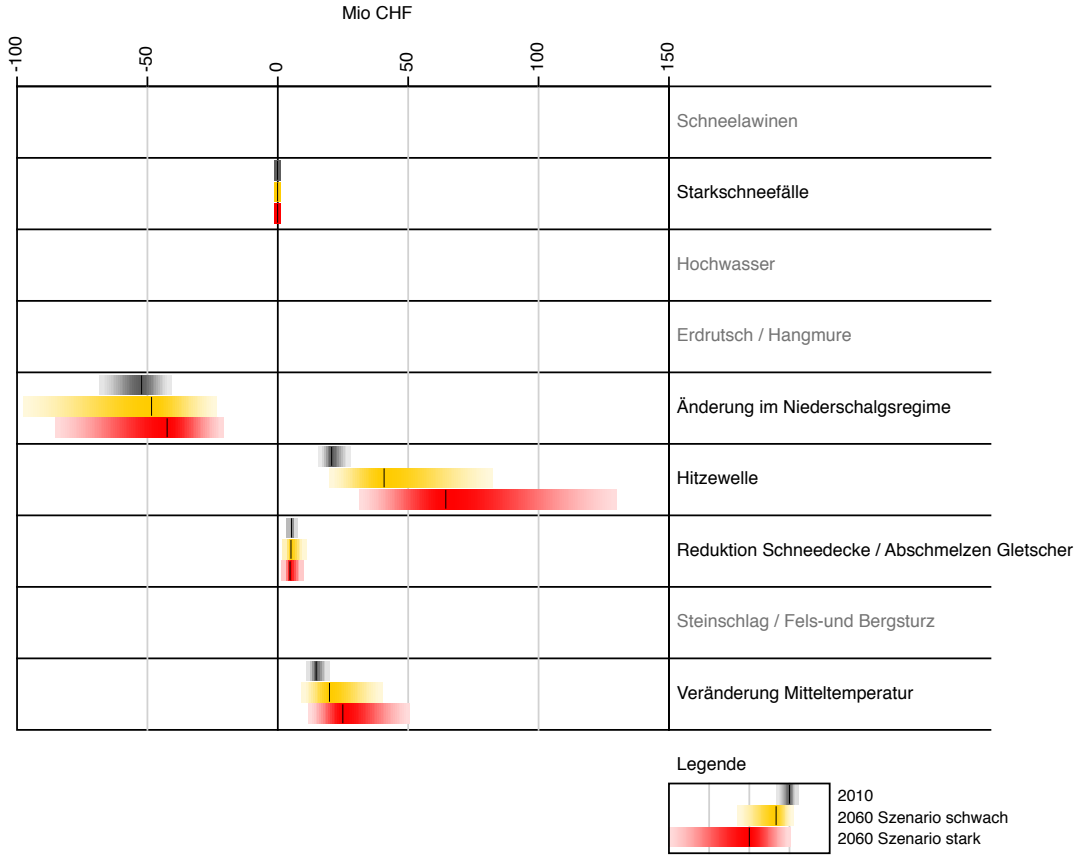


Abbildung 147: Kosten (negativ) und Erträge (positiv) jeder Gefahr oder jedes Effekts für den Auswirkungsbereich Tourismus unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).

Extremereignisse

In Abbildung 148 sind die Kosten ersichtlich, welche durch ein Extremereignis (jeder Gefahr/ jedes Effekts) beim Auswirkungsbereich Tourismus entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

Das einzige Extremereignis, das in diesem Auswirkungsbereich von Interesse ist, hängt mit Starkschneefällen zusammen. Diese können nämlich zu Schäden an Wanderwegen führen. Es ist anzumerken, dass die durch das Extremereignis Starkschneefälle verursachten Schäden nicht relevant sind, in Bezug auf den Erwartungswert der Kosten/Erträge, für den Auswirkungsbereich Tourismus.

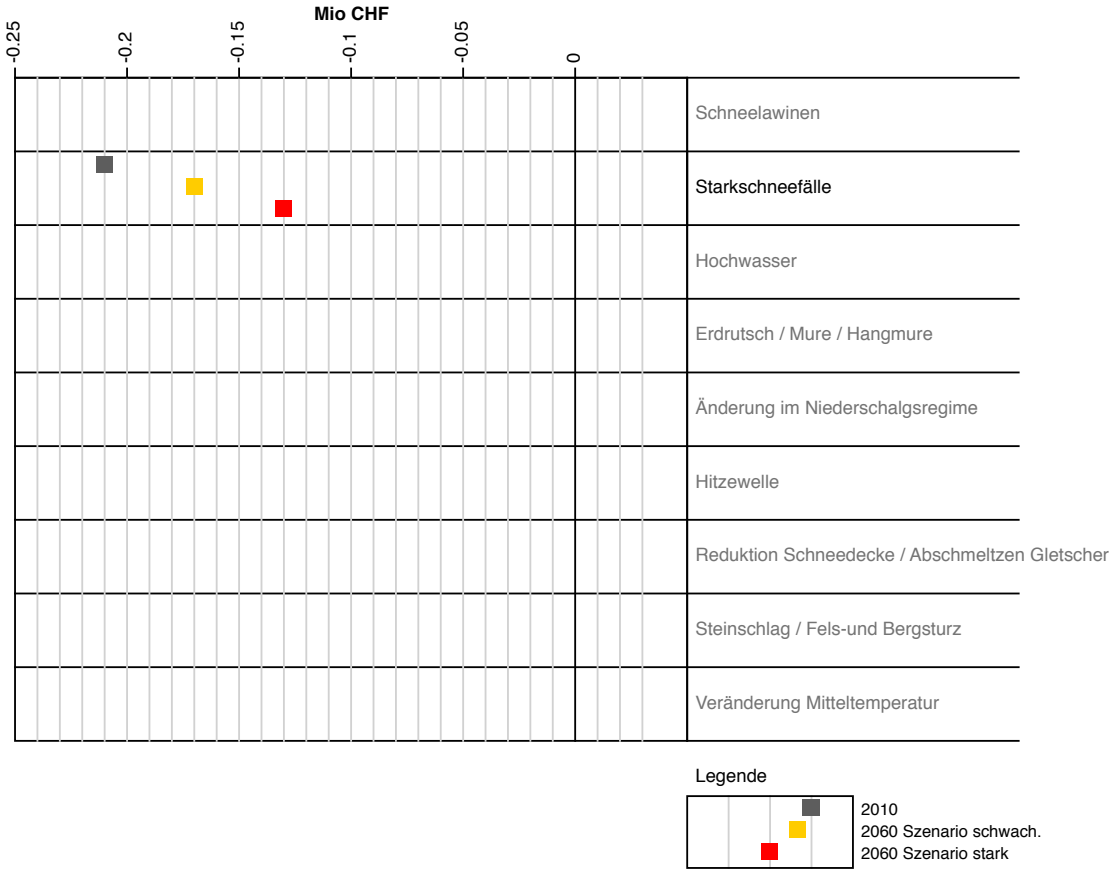


Abbildung 148: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für jede Gefahr oder jeden Effekt im Auswirkungsbereich Tourismus unter den Szenarien schwach und stark.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Tourismus

In Abbildung 149 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Tourismus dargestellt.

Bei der Darstellung der Risiken werden die höheren Kosten und geringeren Erträge der Skigebiete berücksichtigt. Im Mittel ist ein totaler Verlust von ca. 180'000 Fr. pro Jahr unter dem Szenario schwach und ca. 550‘000 Fr. pro Jahr unter dem Szenario stark zu verzeichnen.

Die Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Tourismus hängen zusammen mit der Verlängerung der Sommersaison, den höheren Erträgen im Berggebiet infolge der Hitzewellen in Tallagen, sowie den höheren Erträgen infolge der Abnahme der sommerlichen Niederschläge. Insgesamt belaufen sie sich auf rund 29 Mio. Fr. unter dem Szenario schwach und ca. 64 Mio. Fr. unter dem Szenario stark.

Die Totalbilanz (unten in Abbildung 149) zeigt, dass der Klimawandel insgesamt eine positive Auswirkung auf den Auswirkungsbereich Tourismus hat. Die Chancen sind deutlich grösser als die Risiken.

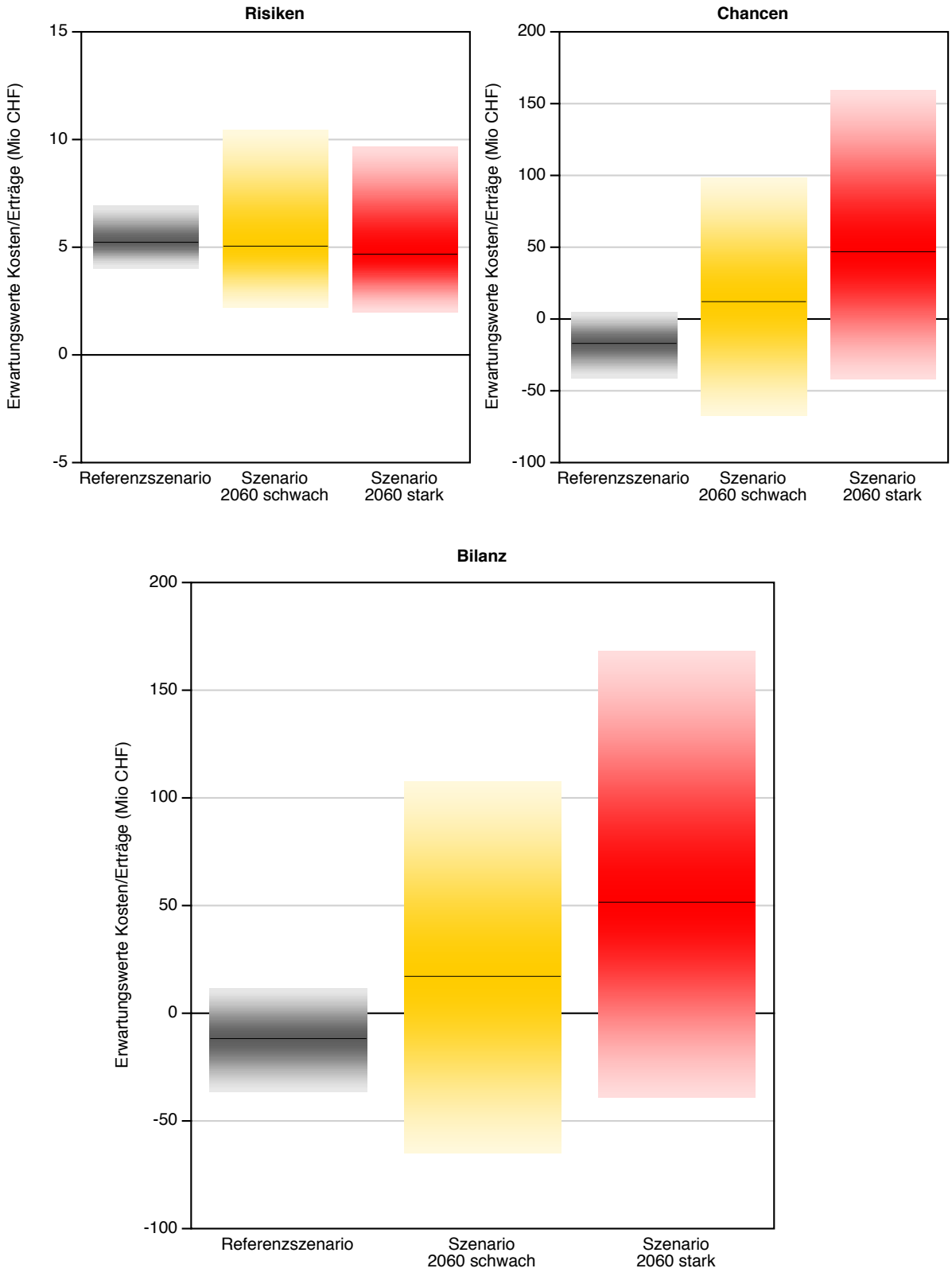


Abbildung 149: ***Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Tourismus unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Kosten sind mit negativen Werten und Erträge mit positiven dargestellt. Risiken repräsentieren die Abnahme, Chancen die Zunahme der Summe der Erträge plus Kosten. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Tourismus. Die Grafik zeigt die jeweiligen Erwartungswerte sowie die Unsicherheitsbalken.***

5.7.4. Qualitative Analyse

In Abbildung 150 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten für den Auswirkungsbereich Tourismus dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und unter den Szenarien schwach und stark dargestellt.

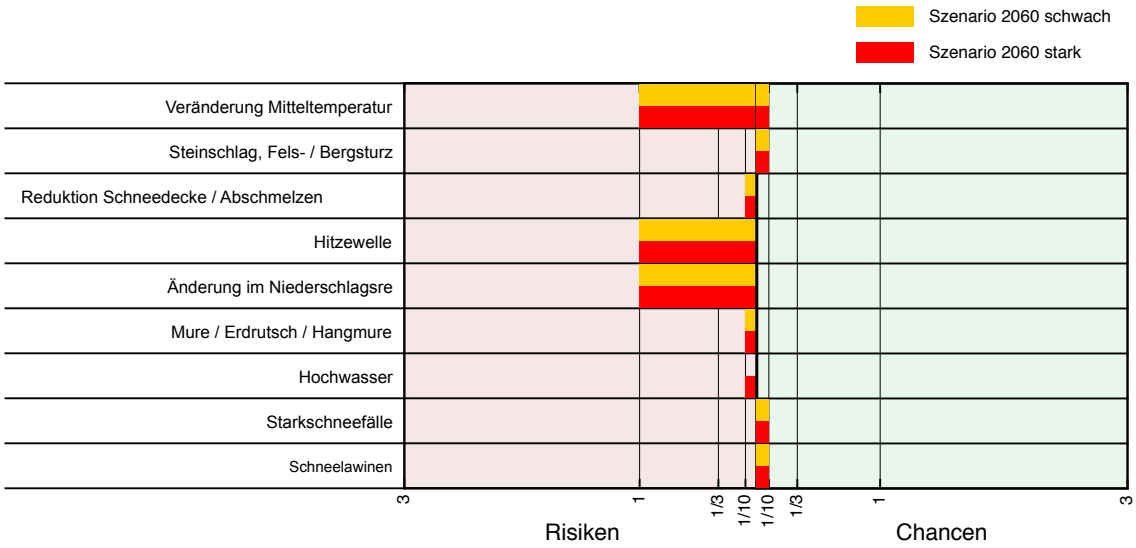


Abbildung 150: ***Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz zeigt, dass die qualitativ ausgewerteten Chancen (sie sind primär auf den Rückgang der Schneelawinen, der Starkschneefälle und der Gefahr Steinschlag/Fels-/Bergsturz zurückzuführen) eine **deutlich geringere** Auswirkung haben als die quantitativ ausgewerteten Chancen. Die qualitativ ausgewerteten Risiken (vor allem wegen der zunehmenden Verbreitung von gebietsfremden Mücken, der Abnahme der Badequalität der Seen, der möglichen Abnahme der Übernachtungen in Tallagen aufgrund von Hitzewellen, der Abnahme des Wintertourismus infolge der Zunahme der Niederschläge, des Abschmelzens der Gletscher sowie der Zunahme der Gefahren Mure/Erdrutsch/Hangmure und Hochwasser) haben eine **grössere** Auswirkung im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken.

In Tabelle 79 finden sich die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Tourismus monetarisiert wurden.

Auswirkungsbereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Tourismus	-0.6	6	-1.8	13

Tabelle 79: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Tourismus unter den Szenarien schwach und stark.***

5.7.5. Sozioökonomisches Szenario 2060

Tourismusnachfrage und Übernachtungen

Wie in Kapitel 4.6 erläutert, wird die Tourismusnachfrage im Tessin annähernd konstant bleiben, während die Anzahl Übernachtungen (in Hotels, Campingplätzen, Zweitwohnungen, bei Bekannten etc.) um ca. 7 % abnehmen wird.

Bergtourismus

Obwohl die Übernachtungen abnehmen werden, bewirken die zukünftigen sozioökonomischen Änderungen einen Anstieg um ca. 10 % des Bergtourismus (vgl. Kapitel 4.6). Es ist möglich, dass es dadurch auch zu einer Zunahme der Wanderwege um ca. 10 % kommt.

Tourismus in Skigebieten

In Zukunft (Zeithorizont 2060) wird es wahrscheinlich nicht mehr möglich sein, alle bestehenden Anlagen in Skigebieten instandzuhalten, dies insbesondere aufgrund der Alterung der Anlagen. Angenommen, es bleiben noch zwei der wichtigsten Skigebiete geöffnet, ergibt dies eine Abnahme der Erträge um 48 % (vgl. Kapitel 4.6).

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios für den Auswirkungsbereich Tourismus wird als mittel beurteilt.

Sozioökonomisches Szenario Tourismus

Generell kann festgestellt werden, dass unter dem sozioökonomischen Szenario die Auswirkungen auf den Tourismus nicht beträchtlich ändern werden (vgl. Tabelle 80 und Abbildung 151).

Unter dem sozioökonomischen Szenario werden eine leichte Zunahme der Erträge von Sommer-Ausflugszielen in den Bergen, eine leichte Abnahme des Sommertourismus und eine Abnahme des Tourismus in Skigebieten erwartet. Zunahme und Abnahme schwächen sich dabei gegenseitig ab.

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Starkschneefälle							
Schäden an Wanderwegen	-0.08	-0.10	-0.13	1.1	-0.06	-0.11	-0.22
Änderung im Niederschlagsregime							
Abnahme des Sommertourismus aufgrund schlechten Wetters	-42	-52	-68	0.9	-24	-49	-97
Hitzewelle							
Mehrerträge während Hitzewellen in Berggebieten	17	21	27	1.1	11	23	45
Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher							
Kosten zur künstlichen Beschneiung	-0.10	-0.13	-0.16	0.5	-0.03	-0.07	-0.13
Erträge von Skigebieten	4.3	5.4	7.0	0.5	1.4	2.8	5.5
Veränderung Mitteltemperatur							
Verlängerung der Sommersaison	12	15	19	0.9	7	14	27
Total	**-36**	**-12**	**11**	**-**	**-78**	**-10**	**54**

Tabelle 80: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Tourismus. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

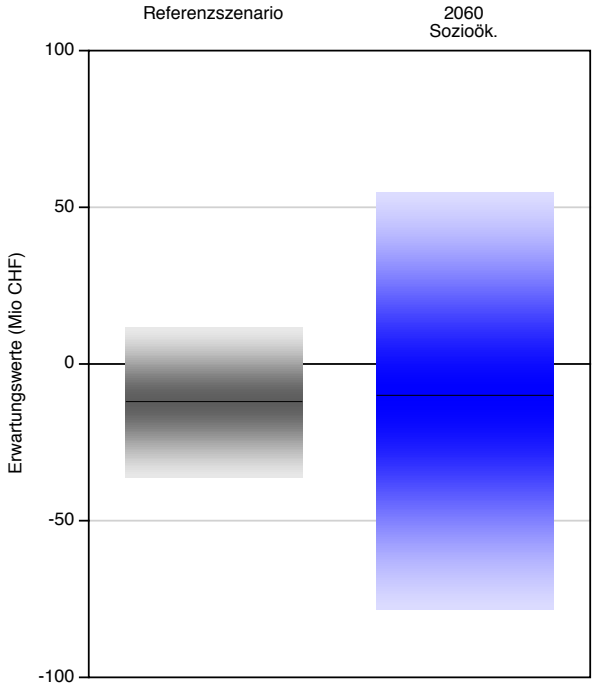


Abbildung 151: Grafische Darstellung der heutigen Kosten/Erträge und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Tourismus. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.

Die sozioökonomischen Auswirkungen werden auch in Bezug auf die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen von geringerem Ausmass sein. Die Änderung letzterer ist auf diejenigen Aspekte zurückzuführen, die in der quantitativen Analyse erwähnt wurden.

5.7.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Tourismus

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Tourismus hat bedeutende Chancen ausgewiesen. Die Risiken des Klimawandels erwiesen sich hingegen als eher gering, und zwar als **leicht negativ** sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark (Kosten von ca. 1 resp. 2 Mio. Fr./Jahr). Die Chancen zeigten sich hingegen als **positiv** unter dem Szenario schwach (Mehrerträge von ca. 35 Mio. Fr./Jahr) und **sehr positiv** unter dem Szenario stark (Mehrerträge von ca. 77 Mio. Fr./Jahr). Insgesamt sind die Auswirkungen unter dem Szenario schwach **positiv** (Chance in der Höhe von 34 Mio. Fr./Jahr) und **sehr positiv** unter dem Szenario stark (Chance in der Höhe von 75 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf den Bereich Tourismus erwiesen sich hingegen als leicht **negativ** (Kosten von ca. 2 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.8. ENERGIE

5.8.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Energieproduktion

Der Kanton Tessin ist ein wichtiger Stromproduzent. Allein die Tessiner Wasserkraft produziert pro Jahr durchschnittlich 3'664 GWh erneuerbaren Strom (Wasserkraftwerke mittlerer Bruttoleistung > 300 kW generieren rund 96 % der Gesamtproduktion). Die restlichen Energieproduzenten (Abfall-, Photovoltaik-, Laufwasser-, Biogasanlagen, Wasserkraftwerke mittlerer Bruttoleistung < 300 kW und fossile Brennstoffanlagen) sind momentan von untergeordneter Bedeutung (ca. 150 GWh/Jahr, resp. ca. 4 % der Gesamtproduktion).

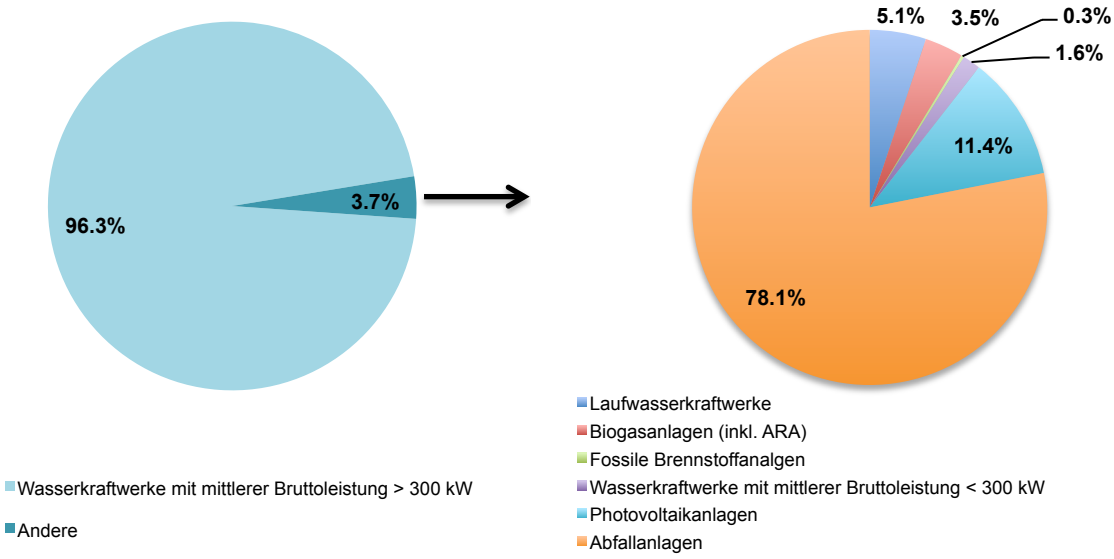


Abbildung 152: Stromproduktion im Tessin (2013). Diagramm links: Anteil der Wasserkraft mit Bruttoleistung > 300 kW und der übrigen Produktionsformen an der Stromproduktion. Das Diagramm auf der rechten Seite zeigt die Produktion der übrigen Anlagen im Detail (SUPSI, 2014).

Die Produktion von hydroelektrischer Energie (= Stromproduktion durch Wasserkraftwerke) ist von verschiedenen klimatischen Faktoren abhängig. Dazu zählen z.B. Schneeschmelze, Niederschlag oder Evapotranspiration. Sie alle beeinflussen den Abfluss und damit auch die Pegel der Stauseen. Änderungen z. B. des Niederschlagsregimes wirken sich entsprechend auf die Leistung der Wasserkraftanlagen aus.

Auch Photovoltaikanlagen sind von klimatischen Faktoren abhängig. Ihre Stromproduktion ist mit der Dauer und der Intensität der Sonneneinstrahlung korreliert. Biogas-, Abfallenergie- sowie fossile Brennstoffanlagen werden hingegen kaum von klimatischen Faktoren beeinflusst.

Energieverbrauch

Im Tessin beträgt der Energieverbrauch pro Kopf 29.6 MWh pro Jahr (im Jahr 2013 waren es total rund 10‘000 GWh). Die Energiequellen setzen sich zusammen aus Erdölprodukten

(55 %), Strom (31 %; insgesamt rund 3‘200 GWh/a), Erdgas (11 %) und 3 % entfallen auf Holz, Umgebungswärme und Solarthermie.

Der Verkehr und die Haushalte (Beheizung) sind für den grössten Teil des Tessiner Energieverbrauchs verantwortlich (rund 60 % im Jahr 2013). Gewerbe und Industrie zusammen mit Handel und Dienstleistungen machen 30 % aus. Die übrigen 10 % entfallen auf elektrische Geräte und private Beleuchtungen von Hauhalten, Versorgungsunternehmen und Netzverluste, Pumpen, öffentliche Beleuchtung sowie andere (Landwirtschaft, Baustellen, etc.).

Haushalte, Gewerbe und Industrie sowie Handel und Dienstleistungen machen rund 80 % des gesamten Stromverbrauchs aus. Die übrigen 20 % des Stroms werden durch den Verkehr, Pumpen, Versorgungsunternehmen und Netzverluste, die öffentliche Beleuchtung sowie andere (Landwirtschaft, Baustellen, etc.) verbraucht.

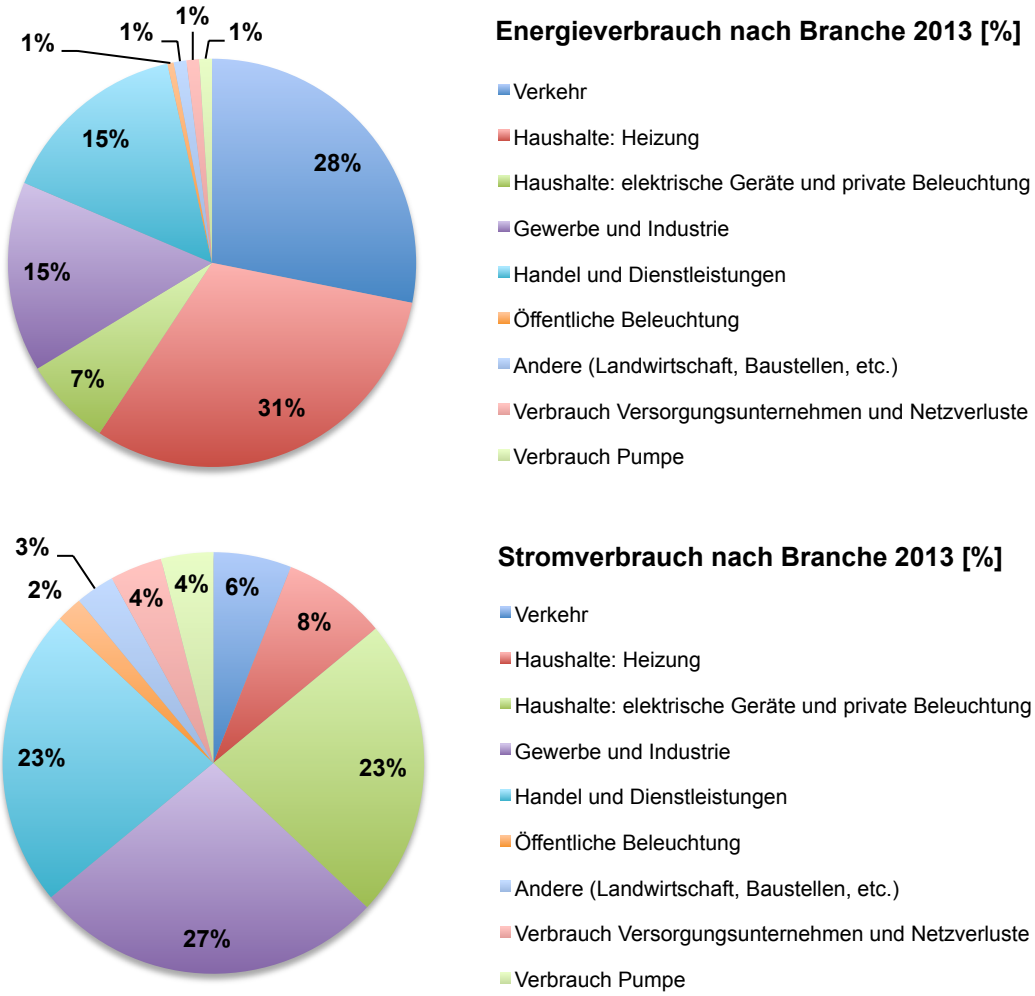


Abbildung 153: Energieverbrauch (oben) und Stromverbrauch (unten) jeweils unterteilt nach Branche (SUPSI, 2014).

In den vergangenen 40 Jahren hat der Stromverbrauch zugenommen, während die Produktion annäherungsweise konstant blieb, abgesehen von den jährlichen wetter- und speicherbedingten Schwankungen (vgl. Abbildung 154).

Auch der Energieverbrauch ist von den klimatischen Bedingungen abhängig. Man geht davon aus, dass durch die ansteigende Mitteltemperatur und die Abnahme der Häufigkeit von Kältewellen der Heizbedarf abnimmt. Demgegenüber wird der Kühlbedarf aufgrund häufiger auftretender Hitzewellen zunehmen. Momentan ist der Energieverbrauch zum Kühlen etwas tiefer als jener zum Heizen. Dabei ist zu erwähnen, dass es zur Kühlung viel elektrische Energie braucht, während zum Heizen auch andere Energieträger eine Rolle spielen.

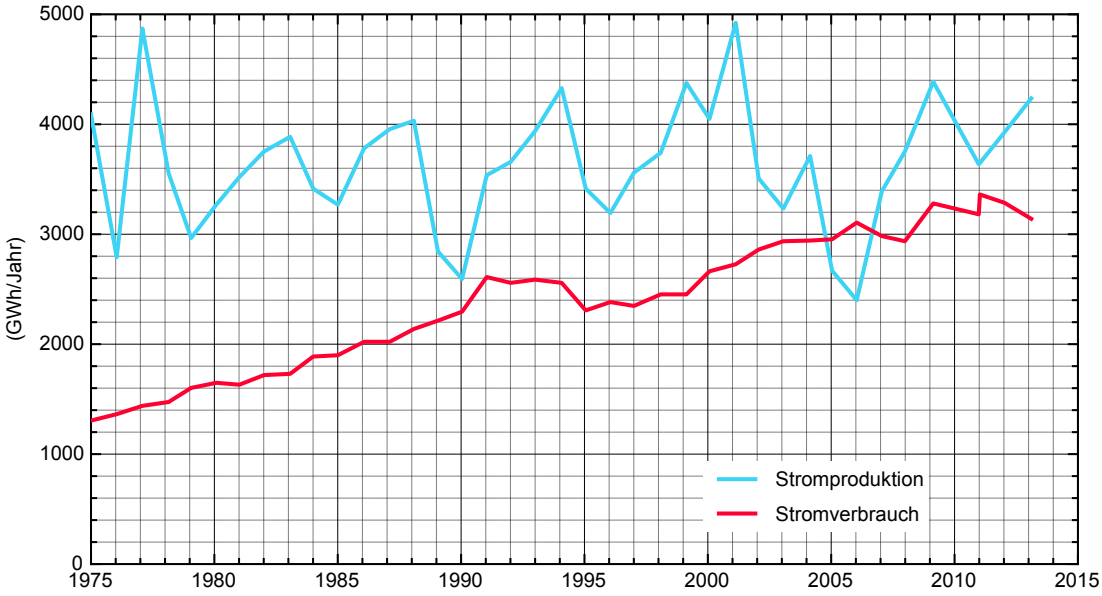


Abbildung 154: Entwicklung von Stromproduktion (blaue Kurve) und Stromverbrauch im Kanton Tessin für den Zeitraum 1975 bis 2013 (SUPSI, 2014).

Marktpreis von Strom

Der Strompreis hat in den letzten Jahren stetig abgenommen. Gründe dafür sind die Wirtschaftskrise, die Förderung erneuerbarer Energien und die tiefen Beträge der CO_2-Abgabe (die die Kosten der Stromproduktion durch Kohlekraftwerke tief halten). Der mittlere Strompreis gemäss Swissix betrug im letzten Jahr (2015) ca. 4.2 Rp./kWh.

Die bisherigen Fallstudien der Risiken und Chancen des Klimawandels (Kt. Aargau und Uri) gehen von einem Strompreis von 8 Rp./kWh resp. 10 Rp./kWh aus (die Studien wurden 2012/13 resp. 2013/14 erarbeitet). Diese Preise liegen höher als der heutige Strompreis. Um den Vergleich der Studien zu vereinfachen und da sich das Referenzszenario auf Jahr 2010 bezieht, hat die Arbeitsgruppe entschieden, die Analyse mit einem **theoretischen Strompreis in der Höhe von 8 Rp./kWh** durchzuführen.

Energiekosten

Die Stromkosten der Schweiz variieren heute und in Zukunft je nach Kanton und Gemeinde. Im Mittel betragen die Stromkosten heute (Jahr 2015) für den Endverbraucher rund 19-20 Rp./kWh (Elcom, 2015). Davon entfallen mehr als 50 % auf Steuern und Netzkosten. In der vorliegenden Studie wird von **Stromkosten von 16 Rp./kWh** ausgegangen, was den Vergleich mit dem Kanton Aargau erleichtert.

Der bedeutendste Energieträger zum Heizen von Gebäuden im Tessin ist das Heizöl (67 %), gefolgt von Erdgas (20 %). Im März 2015 lag der Verkaufspreis von Heizöl bei 7.6 Rp./kWh

und jener von Erdgas bei 7.9 Rp./kWh (AIL, 2015). Der Erdölpreis weist seitdem eine steigende Tendenz auf, wodurch auch mit einer Erhöhung des Heizölpreises zu rechnen ist.

In den Fallstudien Aargau und Uri, die in einem Zeitraum durchgeführt wurden, als der Ölpreis deutlich höher lag als heute, wurde von einem **Energiepreis zum Heizen von 10 Rp./kWh** ausgegangen. Zur Vereinfachung des Vergleichs wird in dieser Fallstudie derselbe Betrag hinterlegt.

5.8.2. Gefahren und Effekte 2060

Auf der Basis der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) werden für den Auswirkungsbereich Energie folgende Gefahren und Effekte ausgewertet: Mure/Erdrutsch/Hangmure, Änderung im Niederschlagsregime, allgemeine Trockenheit, Kältewelle, Hitzewelle, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher sowie Veränderung Mitteltemperatur. Die von jeder Gefahr und jedem Effekt ausgehenden Auswirkungen finden sich in Tabelle 81. Diese zeigt auch die jeweilige Auswertungsart an (quantitativ oder qualitativ).

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Energie ist in Abbildung 155 ersichtlich. Im Auswirkungsbereich Energie werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromproduktion (inkl. Schäden an Infrastrukturen zur Produktion) und auf den Energieverbrauch ausgewertet. Es wird jedoch nicht auf Schäden der Anlagen zur Stromverteilung (z.B. Hochspannungsleitungen) eingegangen. Diese werden im Rahmen des Auswirkungsbereichs Infrastrukturen und Gebäude ausgewertet.

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 81 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Die Handlungsfelder E1 (Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden) und E2 (Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft) werden hier häufig aufgeführt. Die Massnahmen e1 (Grundlagenstudie zur Reduzierung des Kühlenergiebedarfs durch bauliche Massnahmen), e2 (Information und Sensibilisierung der betroffenen Stakeholder und Multiplikatoren im Gebäudebereich), e4 (Studien zu Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung inkl. Sensibilisierung der Betroffenen) und e8 (Aufzeigen der Wirkungszusammenhänge der Klimaauswirkungen und Anpassungsmassnahmen in den verschiedenen Bereichen) gehören zu den wichtigsten.

Gefahr/Effekt	Quantitativ ausgewertete Auswirkungen	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungsfelder	Massnahmen
Mure /Erdrutsch /Hangmure	Zunahme der Kosten für die Entsorgung von Schuttablagerungen und Material in Staubecken, daraus ergebende Einschränkung der Stromproduktion.		E2; W2; N3	n1 –n7; e4; e5
Änderung im Niederschlagsregime	Beeinflussung der Stromproduktion von Wasserkraftwerken aufgrund von Änderungen des Oberflächenabflusses.		E2; W5; W12	e4; e8; w4 w5
Allg. Trockenheit		Abnahme der Wasserverfügbarkeit und der Abflüsse, Konflikte wegen Wasserknappheit aufgrund von Produktionseinschränkungen.	E2; W5	e4; e8; w4; w5
Kältewelle		Abnahme von Perioden mit einem erhöhten Energiebedarf zum Heizen.	E1	e2; e8
Hitzewelle		Starke Zunahme des Energiebedarfs zur Kühlung von Gebäuden und daraus folgende mögliche Konsequenzen für das Stromnetz.	E1	e1; e2; e3; e8
Reduktion Schneedecke / Abschmelzen Gletscher		Änderung des Wasserangebots infolge Schneeschmelze und Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss.	E2; W5	e4; e8; w4; w5
Veränderung Mitteltemperatur	Abnahme der Anzahl Heizgradtage und Abnahme des Energiebedarfs zum Heizen.		E1	e1; e2; e3; e8
	Zunahme der Kühlgradtage und des Energiebedarfs zur Kühlung von Gebäuden.		E1	e1; e2; e3; e8
		Zunahme der Leistung von Photovoltaikanlagen infolge einer möglichen Zunahme der Sonneneinstrahlung und Temperaturerhöhung [22].		e8
		Zunahme der Evapotranspiration und daraus folgende Änderungen des Wasserkreislaufs, sowie Einfluss auf die Wasserkraftanlagen.	E2; W5	e4; e8; w4; w5

Tabelle 81: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Energie, unterteilt in quantitativ und qualitativ ausgewertete Auswirkungen. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün dargestellt.***

22 Änderungen der Sonneneinstrahlung betreffen nur wenige Auswirkungsbereiche und werden daher nicht als separater Effekt analysiert, sondern innerhalb des Effekts „Änderung Mitteltemperatur“.

Wirkungsmodell

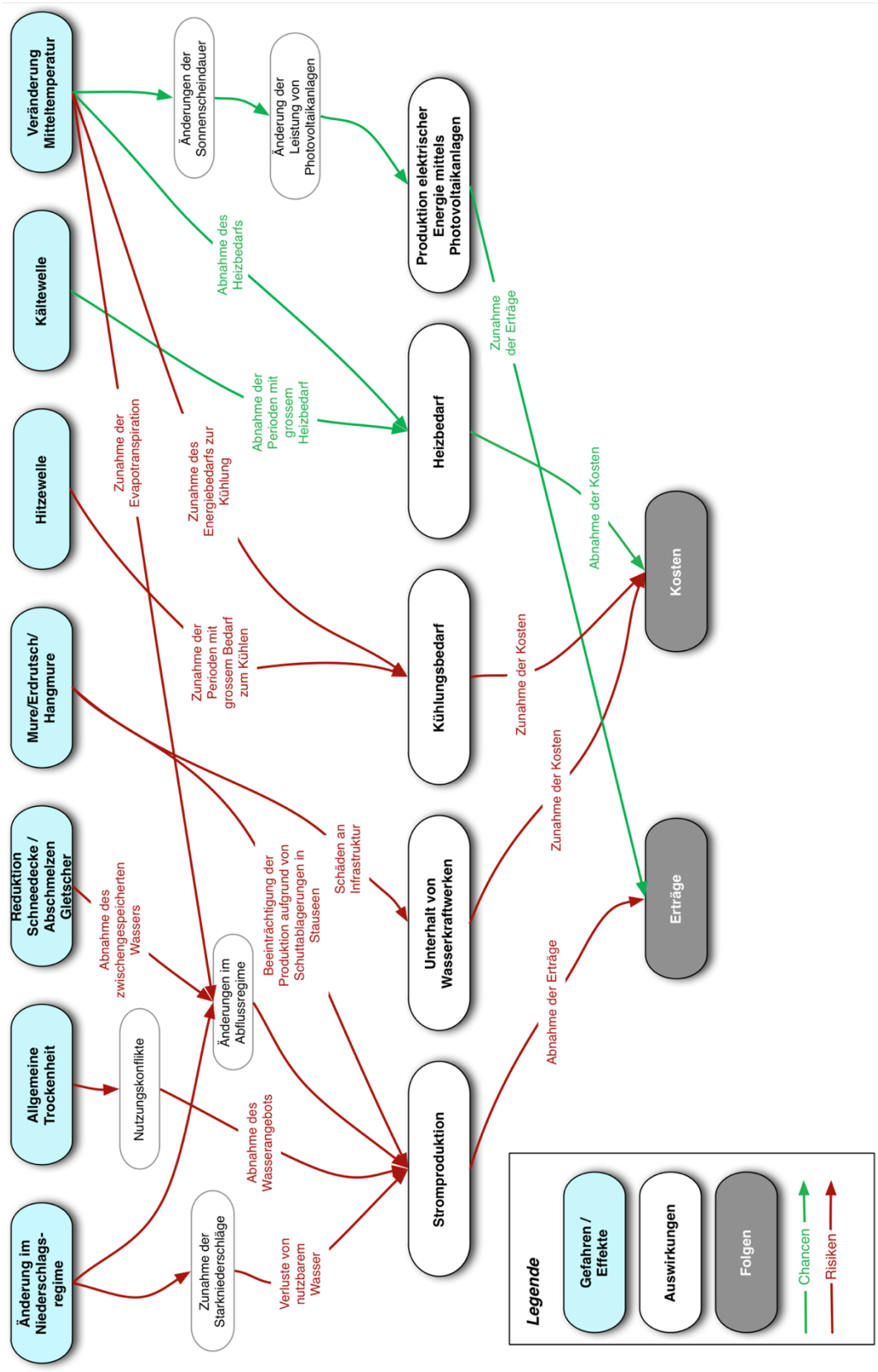


Abbildung 155: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Energie.

Mure/Erdrutsch/Hangmure

Quantitative Auswirkungen

Entfernung von Schuttablagerungen in Stauseen und Beeinträchtigung der hydroelektrischen Produktion

Muren (Murgänge), Erdrutsche und Hangmuren führen Stauseen, welche der Stromproduktion dienen, grosse Mengen an Material zu (anorganisches und organisches).

Gemäss eines mit der “Azienda elettrica ticniese (AET)” geführten Gesprächs entstehen pro Jahr aufgrund von Muren, Erdrutschen und Hangmuren Kosten in der Höhe von 365‘000 Fr. Diese Kosten sind auf das Ersetzen oder die Reparatur von Bauelementen der Wasserkraftwerke, das Entfernen von Material aus dem Staubecken (mechanische Reinigung) und auf Produktionseinschränkungen zurückzuführen. Dazu gehören auch Unterbrechungen des Turbinenbetriebs aufgrund des zu hohen Schuttanteils im Stausee.

Zusätzlich zu den Daten der AET standen der Arbeitsgruppe die Beträge der Mehrkosten zur Verfügung, welche infolge der Extremereignisse von 1978 und 1987 entstanden sind (dabei handelt es sich annähernd um hundertjährliche Ereignisse). In beiden Jahren zogen die Ereignisse jeweils Kosten in der Höhe von rund 1.8 Mio. Fr. nach sich.

Die Wasserkraftwerke der Maggia (Ofima) büssen am meisten Schäden durch Murgänge und Rutschungen im Stausee von Palagnedra ein (Ofima, A. Baumer). Ca. alle 10 Jahre müssen dort die am Grund abgelagerten Feinsedimente entfernt werden, da sonst der Kraftwerksbetrieb beeinträchtigt ist. Die letzte Entleerung fand 2013 statt und führte zu einem 12-tägigen Unterbruch der Stromproduktion. Da die Aktion geplant war, konnte ein Teil des Wassers flussaufwärts von Palagnedra gespeichert werden und bei der Wiederinbetriebnahme direkt für die Produktion genutzt werden. Ein anderer Teil des Wassers wurde zum Verdünnen der im Stausee abgelagerten Sedimente gebraucht (die Verdünnung ist notwendig um Schäden am fluvialen Ökosystem zu vermeiden). Im Mittel entstehen aufgrund von Muren, Erdrutschen und Hangmuren pro Jahr Mehrkosten in der Höhe von 170‘000 Fr.

Bei den andern Stauseen im Maggiatal ist die Anreicherung von Schutt weniger relevant. Betreffend des Kraftwerks Sambuco ist einzig die Zufuhr von Treibholz im Stausee erwähnenswert. So entstehen dort aufgrund dieser Problematik im Mittel rund 10‘000 Fr. Mehrkosten pro Jahr (Ofima, A. Baumer).

Infolge des Extremereignisses im August 1978 (hundertjährliches Ereignis) entstanden beim Kraftwerk von Palagnedra enorme Schäden aufgrund der sehr grossen Schuttzufuhr (vgl. Abbildung 156). Das Ereignis führte zu einem 9-monatigen Betriebsunterbruch. Es sind dadurch (aufgrund des Unterbruchs und der Entfernung des Schutts) Kosten von insgesamt ca. 100 Mio. Fr. entstanden (Ofima, A. Baumer).

Abbildung 156: Staumauer von Palagnedra nach dem Unwetter im August 1978. Gut erkennbar ist die grosse Zufuhr von Treibholz in den Stausee (Polier, 2015).

Die Wasserkraftwerke von Blenio (Ofible) verzeichnen höhere Kosten aufgrund der grösseren Dimensionen der dort auftretenden Muren, Erdrutschen und Hangmuren und der sich daraus ergebenden grösseren Schuttzufuhr. Pro Jahr entstehen so im Mittel Schäden in der Höhe von 0.7 Mio. Fr. (ca. 1 Schadenereignis von 10 - 20 Mio. Fr. pro Stausee alle 30-40 Jahre; Ofima, A. Baumer).

Bei den Kraftwerken der Ofible waren im Jahr 2006 speziell grosse Schadensummen zu verzeichnen. Ein über die Ufer getretener Bach überflutete die Schaltanlage Biasca, was einen sechstägigen Betriebsunterbruch des Kraftwerks und der 220 kV-Leitung zur Folge hatte. Durch das Ereignis entstanden Kosten in der Höhe von 6 Mio. Fr. (davon rund 5 Mio. Fr. aufgrund fehlender Produktion bei Malvaglia).

Bei Ofima und Ofible sind die Schäden der Infrastruktur nicht auf Schäden an den Turbinen zurückzuführen. Mittels Filter wird nämlich ermittelt, ob das Wasser in den Stauseen einen zu hohen Schuttanteil hat. Falls dies der Fall ist, werden die Turbinen ausser Betrieb gesetzt. Diese Unterbrüche sind jedoch meistens von kurzer Dauer und beeinflussen die Erträge der Kraftwerke nicht (Ofima, A. Baumer).

Aus den Aussagen von Experten ergibt sich, dass der grösste Teil der Verluste auf die Ausserbetriebssetzungen und nur ein kleiner Teil auf Reparaturarbeiten zurückzuführen sind. Die Produktion der Elektrizitätsfirmen, deren Daten (AET, Ofima und Ofible) ausgewertet wurden, beträgt rund 82 % der gesamten Produktion im Tessin (SUPSI, 2014). Diese könenn somit als repräsentativ für die gesamte hydroelektrische Stromproduktion des Kantons Tessin betrachtet werden. Bei der Übertragung der Daten auf andere Wasserkraftwerke im Tessin muss beachtet werden, dass die Schuttzufuhr durch Muren (Murgänge), Erdrutsche und Hangmuren je nach Einzugsgebiet und Stausee stark variiert. Zum Beispiel ist in tiefergelegenen Stauseen mit einer grösseren Zufuhr von Treibholz zu rechnen, als oberhalb der Waldgrenze. Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Grösse der Stauseen. Grosse Stauseen sind tendenziell weniger schadensanfällig als kleinere.

Bezüglich der Gefahr/des Effektes Mure/Erdrutsch/Hangmure (vgl. Kapitel 4.5.4) geht die vorliegende Studie davon aus, dass die Schäden unter dem Szenario schwach um rund 1 % und unter dem Szenario stark um 17 % zunehmen werden.

Die Unsicherheit der heutigen Schadensumme ist in erster Linie auf die Änderung der Wiederkehrperioden von Muren, Hangrutschen und Hangmuren sowie die fehlenden Daten von 18 % der Tessiner-Wasserkraftwerke zurückzuführen. Sie wird als **gering** eingestuft. Für die zukünftigen Schätzungen wird hingegen eine **mittlere** Unsicherheit vermutet, dies aufgrund der Unsicherheiten bei der Berechnung der zukünftigen Änderungen der jeweiligen Wiederkehrperioden.

Änderungen im Niederschlagsregime

Quantitative Auswirkungen

Stromproduktion mittels Wasserkraftwerken

Das Niederschlagsregime, die Schneeschmelze und die Evapotranspiration bestimmen den gesamten Wasserabfluss eines Gebiets, der zusammen mit den Eigenschaften der Stauseen (Dimension und minimaler Abfluss) direkt die Stromproduktion der Wasserkraftwerke beeinflusst (Hänggi, 2011). Im Tessin produzieren diese heute im langjährigen Mittel 3‘664 GWh Strom pro Jahr, was einen jährlichen Ertrag von 293 Mio. Fr[23]. ausmacht. 99.6 % dieses Stroms wird im Sopraceneri und nur 0.4 % im Sottoceneri produziert (SUPSI, 2014).

Die vorliegende Studie geht davon aus, dass sich die Erträge der Wasserkraftwerke proportional zu den Wasserabflüssen entwickeln. Die Daten der Letzteren stammen von einer Studie der WSL (Auftraggeber Elettricità della Svizzera italiana (ESI) (ESI & WSL, 2015), vgl. Kapitel 5.6.2).

Gemäss dieser Studie werden die jährlichen Abflussmengen in Zukunft im Sopraceneri um 4.1 % resp. 6.7 % unter dem Szenario schwach resp. stark und im Sottoceneri um 4.9 % resp. 8.1 % unter dem Szenario schwach resp. stark abnehmen.

Die zukünftigen Erträge der Wasserkraftwerke basieren auf der Annahme, dass die Änderungen der jährlichen Abflussmengen auch zu einer Änderung der jährlichen Stromproduktion führen. Letztere ist dabei direkt zu den Erträgen proportional.

Die Auswirkungen infolge der Änderungen des Niederschlagsregimes werden für das gesamte Tessin ausgewertet. So geht die Studie von einem Rückgang der Erträge um 4.2 % (12 Mio. Fr.[23]) unter dem Szenario schwach und 6.8 % (20 Mio. Fr. [23]) unter dem Szenario stark aus.

Die Abnahme des Wasserabflusses bis 2060 ist gering und es scheint, dass mittels Regulierung eine Kompensation erreicht werden könnte. Die zunehmende Sommertrockenheit mit geringeren Abflüssen erlauben aber kaum Kompensationsmöglichkeiten, dies u.a. auch weil ein Mindestabfluss (Q_{min}) stets berücksichtigt werden muss.

Die Unsicherheit der heutigen Ertragssumme ist primär auf normale Schwankungen im Niederschlag zurückzuführen und wird als **sehr gering** beurteilt. Die Unsicherheit der zukünftigen Schätzungen wird als **gering** angesehen und ist in erster Linie auf die folgenden Faktoren zurückzuführen:

[23] Es wird von einem Strompreis von 8 Rp./kWh ausgegangen. Der Wert bezieht sich aufs Jahr 2010 und nicht 2015 (Publikationsjahr dieses Berichts). Der Wert wurde gewählt, um den Vergleich mit anderen Fallstudien zu vereinfachen (vgl. Kapitel 5.8.1).

- Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflüsse;
- Nicht lineare Kopplung zwischen Änderungen im Abflussregime und der hydroelektrischen Stromproduktion;
- Art des Betriebs der Wasserkraftwerke

Allgemeine Trockenheit

Qualitative Auswirkungen

Wassernutzungskonflikte

Die allgemeine Trockenheit hat keinen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch (die notwendige Energie für die Bewässerung von Kiesdepots oder Landwirtschaftsflächen kann vernachlässigt werden).

Was die elektrische Energieproduktion anbelangt, führt die allgemeine Trockenheit jedoch zu Änderungen der Wasserverfügbarkeit. In Abbildung 132 ist eine starke Abnahme der Abflüsse während den heissesten Monaten zu erkennen. Zum Beispiel ist im Sopraceneri während den Monaten Juni und Juli mit einer Abnahme von 26 % unter dem Szenario schwach und 41 % unter dem Szenario stark zu rechnen. Die geringeren Wasserzuflüsse in die Stauseen werden bei den Betreibern der Wasserkraftwerke zu Mehrkosten führen, um negative Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden. Nebst den erhöhten Betriebskosten infolge der komplexeren Bedingungen für die Turbinen wird es auch zu längeren Produktionsausfällen infolge von Wasserknappheit kommen.

Die Risiken in Folge allgemeiner Trockenheit für den Auswirkungsbereich Energie werden sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark insgesamt als „geringer“ bezüglich der quantifizierten Risiken bewertet.

Kältewellen

Qualitative Auswirkungen

Energiebedarf

Kältewellen werden in Zukunft deutlich abnehmen, dies auch in höher gelegenen Gebieten. In Airolo komm es bis 2060 zu einer Abnahme der Eistage von heute 40 auf ca. 25 (Szenario schwach) resp. 12 (Szenario stark). Diese klimatische Entwicklung führt zu einem geringeren Energiebedarf zum Heizen von Gebäuden, insbes. in hohen Lagen. Es ist somit mit einem geringeren Energieverbrauch zu rechnen. So können z.B. den bestehenden Netzen neue Abnehmer hinzugefügt werden (sog. Fernheizungen oder Erdgas).

Die Chancen infolge der Abnahme von Eistagen wurden für beide Szenarien analysiert und als **deutlich geringer** als die quantifizierten Risiken eingestuft.

Hitzewellen

Qualitative Auswirkungen

Energiebedarf

Im Gegensatz zu den Kältewellen nehmen die Hitzewellen in Zukunft zu. Dies wird zu einem grösseren Energiebedarf zur Kühlung von Gebäuden führen.

Da der Energiebedarf zur Kühlung zeitlich mit der maximalen Energieproduktion aus Photovoltaikanlagen einhergeht, wird der grössere Energiebedarf in Zukunft dadurch teilweise gedeckt werden. Nach Meinung von Experten werden auch in Zukunft keine Probleme in Zusammenhang mit dem Energiebedarf zur Kühlung von Gebäuden erwartet (AIL, G. Mameli).

Die Risiken, welche von Hitzewellen ausgehen, sind für den Auswirkungsbereich Energie unter dem Szenario schwach und stark als **geringer** als die quantifizierten Risiken bewertet.

Reduktion der Schneedecke/Abschmelzen der Gletscher

Qualitative Auswirkungen

Wasserangebot für die Stromproduktion

Im Tessin ist heute der Beitrag von Gletscherschmelzwasser zum Abfluss in Einzugsgebieten mit Wasserkraftwerken sehr klein. Er variiert zwischen 0 und 0.7 % mit einem Mittel im gesamten Kanton von rund 0.3 % (ESI & WSL, 2015). So ist davon auszugehen, dass das zukünftige Abschmelzen der Gletscher keinen relvanten Einfluss auf die Stromproduktion von Wasserkraftwerken hat. Dies obwohl in den letzten Jahren beim Gries-Stausee, der zu einem Teil auch die Ofima-Anlagen speist, Verluste der Strompruduktion infolge starker Sedimentzufuhr von Gletscherschmelzwasser zu verzeichnen waren. Infolge dieser Problematik wird eine Verschiebung der Lage des Stausees in Erwägung gezogen.

Infolge der Temperaturzunahme wird in Zukunft trotz der grösseren Niederschlagssummen im Winter weniger Schnee liegen und dadurch das in der Schneedecke gespeicherte Wasser abnehmen. Dies führt auch zu einer Abnahme der Wasserverfügbarkeit in den Bächen, welche vom Schneeschmelzwasser gespeist werden. Letzteres hat einen Anteil von 32 % am gesamten Wasserabfluss. Die Folge davon ist, dass die Abflüsse weniger gleichmässig übers Jahr verteilt sein werden (vgl. Kapitel 5.6). Die Reduktion der Schneedecke und das Abschmelzen der Gletscher werden insgesamt zu einem geringeren Wasserangebot für die Wasserkraftwerke führen.

Da diese Aspekte bereits quantitativ für die Gefahr/den Effekt „Änderung im Niederschlagsregime“ ausgewertet wurden (mittels Daten der Studie der „Elettricità della Svizzera italiana (WSL, 2015), wird hier nicht mehr auf dieses Risiko eingegangen.

Veränderung Mitteltemperatur

Quantitative Auswirkungen

Der Heizbedarf ist von der Aussentemperatur (resp. den daraus berechneten Heizgradtagen) und der thermischen Gebäudeisolation abhängig. Da bei der Analyse des zukünftigen Energieverbrauchs von einer gleichbleibenden Gebäudestruktur (Oberflächen und Isolie-

rung) ausgegangen wird, wird der Energiebedarf zum Heizen einzig durch die Heizgradtagen bestimmt.

Der Kühlbedarf in einem Gebäude hängt nebst der thermischen Gebäudeisolation und den Kühlgradtagen auch vom Kühlsystem ab. Luft/Luft-Wärmepumpen weisen z.B. einen höheren Energiebedarf auf, wenn die Temperatur der Aussenluft hoch ist, während bei Erdwärmesonden diese keine Rolle spielt. Bei der Auswertung des zukünftigen Energiebedarfs wird die Gebäudestruktur (Oberfläche und Isolierung) als konstant betrachtet und es ist davon auszugehen, dass sich der Energiebedarf proportional zu den Kühlgradtagen verhält. So werden einzelne Kühlsysteme, welche bei höheren Temperaturen weniger Leistung erbringen, nicht berücksichtigt. Ausserdem wird angenommen, dass die Anzahl der Kühltage nicht konstant ist.

Heizen von Gebäuden

Im Tessin wird der Wärmeverbrauch auf 3'499 GWh geschätzt, wovon 3’067 GWh auf Wohngebäude und 432 GWh auf Geschäftsgebäude zurückzuführen sind (DT/DFE, 2010). 355 GWh werden jährlich für Brauchwarmwasser gebraucht (Cellina, Pampuri, & Sormani, 2012) und (SIA, 2009). Dementsprechend fallen 3’144 GWh pro Jahr zum Heizen von Gebäuden an.

Für die Berechnung der heutigen Heizkosten wurde von einem Energiepreis von 10 Rp./kWh ausgegangen, was insgesamt Kosten von 314 Mio. Fr. pro Jahr ergibt.

Die Szenarien schwach und stark wurden auf der Basis der heutigen und zukünftigen Heizgradtage berechnet (vgl. Kapitel 4.4.3). Gemäss der Abbildung 53 werden in den Tälern die Heizgradtage um 10-20 % (Szenario schwach) resp. um 30-35 % (Szenario stark) zurückgehen.

Die Angaben zu den Heizgradtagen von Lugano werden in der vorliegenden Studie als repräsentativ für alle bewohnten Gebiete des Kantons betrachtet. Unter dem Szenario schwach kommt es dort zu einer Abnahme der Heizgradtage von 15 % und unter dem Szenario stark beträgt die Reduktion 33 %.

Aufgrund der Proportionalität der Heizkosten und der Heizgradtage ist daher mit einer Abnahme der Heizkosten von 15 % (Szenario schwach) resp. 33 % (Szenario stark) zu rechnen.

Die Unsicherheit bezüglich der Kosten unter dem Referenzszenario ergibt sich aus den Schätzwerten des Verbrauchs und aus den jährlichen Schwankungen der Heizgradtage. Sie ist somit als **sehr gering** einzustufen. Die Unsicherheit der zukünftigen Schätzungen ist als **gering** einzustufen und ergibt sich primär infolge des unsicheren Einflusses des Klimawandels auf die Heizgradtage.

Heizen der öffentlichen Verkehrsmittel

Der Energiekonsum für das Heizen des öffentlichen Verkehrs ist primär auf das Heizen der Züge (SBB) zurückzuführen. Busse werden mittels Restwärme des Motors geheizt. So wird in diesem Kapitel nur der Energiekonsum der Züge berücksichtigt.

Im Tessin lag der gesamte Energiekonsum der SBB-Züge bei 240 GWh (FFS, M. Caviezel). Gemäss nicht publizierten Daten der SBB wird ca. 17 % der Energie für die Klimatisierung

der Wagen verbraucht. Davon fallen 64 % zum Heizen im Winter an (EBP, WSL, 2013). Dies ergibt einen Energieverbrauch zum Heizen der Züge von 15 GWh pro Jahr. Bei einem Strompreis von 16 Rp./kWh sind dies 2.4 Mio. Fr. pro Jahr.

Auch in diesem Fall sind die Heizgradtage der relevante Klimaindikator für die zukünftige Entwicklung. Es wird somit von einem Rückgang der Heizkosten für Züge von 15 % resp. 33 % unter dem Szenario schwach resp. stark ausgegangen.

Die Unsicherheit der Kosten unter dem Referenzszenario kommt aufgrund der Schätzungen des Energieverbrauchs zur Klimatisierung der Züge (Werte für die gesamte Schweiz und nicht nur für das Tessin) und der jährlichen Schwankungen der Heizgradtage zustande. Sie ist als **sehr gering** einzustufen. Die Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung sind **gering**, diese ergeben sich primär infolge des unsicheren Einflusses des Klimawandels auf die Heizgradtage.

Kühlen von Wohngebäuden

Der gesamtschweizerische heutige Energiekonsum zum Kühlen von Wohngebäuden beträgt 1'217 GWh (BFE, 2007).

Die Extrapolation der schweizerischen Energiebezugsfläche (EBF) von 419.3 Mio. m^2 (BFS, 2015) auf das Tessin ergibt eine Fläche von 20 Mio. m^2 (Ufficio di Statistica, 2014). So macht das Tessin 4.8 % der EBF der Schweiz aus.

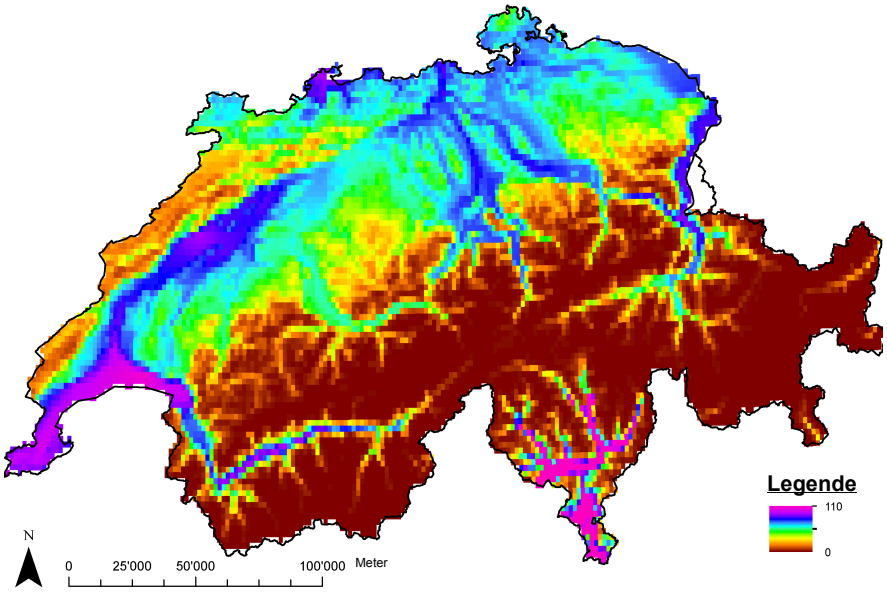


Abbildung 157: Kühltage der Schweiz unter dem Referenzszenario 2010. Das Tessin weist deutlich höhere Werte als die meisten restlichen Kantone der Schweiz auf (MeteoSchweiz, 2014b).

In den besiedelten Gebieten des Tessins sind die Temperaturen und so auch die Kühltage höher als in der restlichen Schweiz (vgl. Abbildung 157). Der schweizerische Mittelwert pro Quadratmeter EBF zum Kühlen von Gebäuden (2.9 kWh/m^2) muss aufgrund dieses Unterschieds angepasst werden. Dafür wurde das Verhältnis zwischen den Kühltagen in Lugano (99) und jenen eines schweizerischen Durchschnittwerts (55) gewählt (MeteoSchweiz, 2014). Daraus ergibt sich ein mittlerer Verbrauch von 5.2 kWh/m^2 für die

Kühlung der im Tessin liegenden Gebäude. Dies entspricht einem jährlichen Energiebedarf von 105 GWh, was bei einem Energiepreis von 0.16 Fr./kWh 17 Mio. Fr. pro Jahr ausmacht.

Die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs zu Kühlzwecken beruht auf der Entwicklung der Kühltage in Lugano (MeteoSchweiz, 2014). So geht man von einem Anstieg des Kühlenergieverbrauchs von 23 % unter dem Szenario schwach und 46 % unter dem Szenario stark aus.

Die Unsicherheit der Kosten unter dem Referenzszenario basiert auf den Schätzwerten des Energieverbrauchs zur Klimatisierung von Gebäuden (Werte Schweiz und nicht nur Tessin) und der jährlichen Schwankungen der Kühltage. Sie wird als **gering** eingestuft. Jene der zukünftigen Entwicklung ist ebenfalls **gering** und auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels auf die Kühltage
- Unsicherheit bei der Berechnung des Energiebedarfs zur Kühlung von Gebäuden

Kühlung der privaten Strassenverkehrsmittel (leichtere Fahrzeuge)

In der Schweiz wird rund 3.1 % des Kraftstoffs der motorisierten Fahrzeuge für die Klimatisierung gebraucht (Kühlung des Fahrzeuginnenraums; EBP/SLF/WSL, 2013). Auch in diesem Fall handelt es sich um einen schweizweiten Wert und es ist davon auszugehen, dass dieser im Tessin aufgrund der höheren Anzahl Kühltage höher liegt. Unter Berücksichtigung der Anzahl Kühltage ergibt dies einen Kraftstoffanteil zur Klimatisierung von 5.6 statt 3.1 %.

Im Tessin lag der aufgrund der Klimatisierung zusätzliche jährliche Kraftstoffverbrauch im Jahr 2013 bei 45‘179‘000 l Diesel und 148'715‘000 l Benzin (SUPSI, 2014).

Bei einem Dieselpreis von 1.72 Fr./Liter und Benzinpreis von 1.64 Fr./Liter (Mittelwerte 2010) (BFS, 2015) kommt man für die Klimatisierung auf jährliche Kosten von 18 Mio. Fr.

Die beiden zukünftigen Szenarien wurden auf der Basis der Änderung der Kühltage in Lugano kalkuliert. Unter dem Szenario schwach ergibt sich eine Zunahme von 23 % und unter dem Szenario stark eine Zunahme von 46 %.

Die Unsicherheit der Kosten unter dem Referenzszenario lässt sich primär auf die Schätzungen des Verbrauchs für die Klimatisierung der Fahrzeuge (schweizweite statt Tessiner Werte) und auf die jährlichen Schwankungen der Kühltage zurückführen. Sie ist als **gering** einzustufen. Jene der zukünftigen Entwicklung wird ebenfalls als **gering** eingestuft und ergibt sich aufgrund folgender Faktoren:

- Unsicherheit der Auswirkung des Klimawandels auf Kühltage
- Unsicherheit bei der Berechnung des Energieverbrauchs zum Kühlen von Motorfahrzeugen

Kühlung der öffentlichen Verkehrsmittel

Der Energieverbrauch zur Kühlung des öffentlichen Verkehrs im Tessin ergibt sich aus der Klimatisierung der Züge und der motorisierten öffentlichen Verkehrsmittel (z.B. Autobus).

Was den Energieverbrauch zum Kühlen von Zügen anbelangt, kann analog wie bei der Berechnung des Energiebedarfs zum Heizen (siehe vorangehende Kapitel) vorgegangen werden. 36 % der jährlich konsumierten Energie zur Klimatisierung der Zugwagen wird von der SBB im Sommer (Kühlung) verbraucht. Unter Berücksichtigung dieser Angaben und der Dif-

ferenz zwischen den gesamtschweizerischen Kühltagen und jenen des Tessins betragen die Ausgaben zur Kühlung der Züge pro Jahr rund 2.5 Mio. Fr.

Zur Abschätzung des Kraftstoffbedarfs zur Kühlung von motorisierten öffentlichen Verkehrsmitteln dienen die Verbrauchswerte eines Autobusses (2'255‘000 l Diesel und Benzin pro Jahr (SUPSI, 2014)). Daraus ergeben sich Kosten von 0.2 Mio. Fr. pro Jahr. Dazu gehören jedoch auch die privaten Reisebusse. Summiert man die Kosten des ÖV’s auf Schienen und Strassen ergibt dies 2.7 Mio. Fr.

Auch für die Kühlung der öffentlichen Verkehrsmittel gehen in Lugano die zukünftigen Szenarien von einer Zunahme der Kühltage von 23 % unter dem Szenario schwach und 46 % unter dem Szenario stark aus.

Die Unsicherheit der Kosten unter dem Referenzszenario besteht aufgrund der ungenauen Schätzungen des Energieverbrauchs zur Klimatisierung des motorisierten Verkehrs und des Schienenverkehrs (beide Werte beziehen sich auf die gesamte Schweiz und nicht spezifisch aufs Tessin), aufgrund der jährlichen Schwankungen der Kühltage und wegen des Anteils von privaten und somit nicht öffentlichen Autobussen. Insgesamt ergibt dies eine **geringe** Unsicherheit. Die Unsicherheit der zukünftigen Schätzungen ist ebenfalls **gering** und auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels auf die Kühltage;
- Unsicherheit der Berechnung des Energiebedarfs für die Kühlung von motorisierten Fahrzeugen.

Kühlung von Industrie- und Dienstleistungsgebäuden

Momentan existieren noch keine Daten für den Energiebedarf zur Kühlung von Industrie- und Dienstleistungsgebäuden. Gemäss einer Publikation (OcCC/ProClim, 2007) liegt schweizweit der Energieverbrauch zur Kühlung von Industriegebäuden (2. Sektor) bei 165 GWh während jener der Dienstleistungseinrichtungen (3. Sektor) 2'850 GWh beträgt.

Im Tessin lag im Jahr 2012 die Anzahl Angestellte im 2. Sektor bei rund 4.9 % aller Angestellten dieses Sektors schweizweit. Im 3. Sektor lag der Prozentsatz mit 4.5 % etwas tiefer (UStat, 2014). Unter Einbezug dieser Verhältnisse und der Differenz der Anzahl Kühltage in Lugano im Vergleich zur restlichen Schweiz (vgl. vorige Kapitel) wurde ein Energieverbrauch für die Kühlung im 2. und 3. Sektor im Tessin von 247 GWh berechnet. Dies entspricht, bei einem Energiepreis von 0.16 Rp./kWh, einem Betrag von rund 40 Mio. Fr.

Die Berechnung der zukünftigen Entwicklung basiert auch in diesem Fall auf der Anzahl Kühltage in Lugano unter dem Referenzszenario sowie unter den Szenarien schwach und stark.

Die Unsicherheit der Kosten unter dem Referenzszenario ist auf die Schätzungen des Kühlenergieverbrauchs im 2. und 3. Sektor sowie auf die jährlichen Schwankungen der Kühltage zurückzuführen und wird als **gering** eingestuft. Die Unsicherheit der zukünftigen Schätzungen ist ebenfalls **gering** und ist durch die folgenden Faktoren erklärbar:

- Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels auf die Kühltage;
- Unsicherheit bei der Berechnung des Energiebedarfs zur Kühlung (bei der Berechnung wurde nicht zwischen den verschiedenen Kühlsystemen unterschieden).

Qualitative Auswirkungen

Leistungszunahme von Photovoltaikanlagen

Der Klimawandel könnte auch zu insgesamt mehr Sonneneinstrahlung führen (einhergehend mit der Zunahme der Mitteltemperatur und der gleichzeitigen Abnahme der sommerlichen Niederschläge). Obwohl die Zunahme der Mitteltemperatur die Leistung der Photovoltaikanlagen leicht herabsetzt, ist davon auszugehen, dass in Zukunft aufgrund der zunehmenden Sonneneinstrahlung die Stromproduktion dieser Anlagen zunehmen wird. Da aber im Tessin eher wenig Photovoltaikanlagen existieren, ist ihre Energieproduktion deutlich tiefer als der Bedarf.

Die erwartete zukünftige Leistungszunahme der Photovoltaikanlagen ist im Vergleich des gesamten Energiebedarfs nicht relevant (aufgrund der relativ begrenzten Anzahl Photovoltaikanlagen). Somit wird diese Chance für den Auswirkungsbereich Energie als **nicht relevant** im Vergleich zu den quantifizierbaren Risiken bewertet.

Zunahme der Evapotranspiration

Die Evaporation (Verdunstung von Wasser auf vegetationslosem Land oder Wasserflächen) und die Transpiration (Verdunstung von Wasser über Vegetation) sind zwei wichtige Prozesse des Wasserkreislaufs. Ihre Änderungen haben Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit in Flüssen, Seen und Grundwasserleitern.

Die Zunahme der Mitteltemperatur im Tessin wird auch zu einer Zunahme dieser beiden Prozesse führen. Dadurch wird es zu einem Rückgang des Wasserangebots in Flüssen kommen, was die Stromproduktion mittels Wasserkraftwerken negativ beeinflussen wird (vor allem im Sommer). Dieser Aspekt wurde bereits bei der Berechnung der Abflüsse im Rahmen der Studie (ESI & WSL, 2015) aufgeführt und somit bereits für die Gefahr/Effekt „Änderung im Niederschlagsregime“ ausgewertet. Aus diesem Grund wurde dieses Risiko als **nicht relevant** im Vergleich zu den quantifizierbaren Risiken bewertet (sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark).

5.8.3. Quantitative Analyse

Kosten und Erträge unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark

In Abbildung 158 sind die Kosten und Erträge, welche mit den verschiedenen Gefahren und Effekten für den Auswirkungsbereich Energie zusammenhängen, unter dem Referenzszenario sowie den Szenarien schwach und stark ersichtlich. Die zugehörigen Werte finden sich in Tabelle 82.

Gefahr/Effekt	Referenzszenario (Mio. Fr.)			Szenario schwach (Mio. Fr.)			Szenario stark (Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.	Min.	Mitt.	Max.
Mure/Erdrutsch/Hangmure									
Entfernung von Material aus Stauseen und Produktionsrückgang resp. -ausfall	-1.2	-1.5	-2.0	-0.8	-1.5	-3.1	-0.9	-1.8	-3.6
Änderung im Niederschlagsregime									
Produktion von hydroelektrischer Energie	273	293	322	225	281	365	219	273	355
Veränderung der Mitteltemperatur									
Heizen von Gebäuden	-292	-314	-346	-214	-267	-347	-168	-209	-272
Heizen von öffentlichen Verkehrsmitteln	-2.3	-2.4	-2.7	-1.7	-2.1	-2.7	-1.3	-1.6	-2.1
Kühlung von Wohngebäuden	-13	-17	-22	-16	-21	-27	-20	-24	-32
Kühlung der privaten Strassenverkehrsmittel	-14	-18	-23	-18	-22	-29	-21	-26	-34
Kühlung von öffentlichen Verkehrsmitteln	-2.1	-2.7	-3.5	-2.4	-3.0	-3.9	-2.9	-3.6	-4.7
Kühlung von Industrie- und Dienstleistungsgebäuden	-32	-40	-51	-39	-48	-63	-46	-58	-75
Bilanz	**-178**	**-102**	**-35**	**-250**	**-84**	**74**	**-205**	**-51**	**96**

Tabelle 82: ***Quantitativ ausgewertete Kosten (negativ) und Erträge (positiv) für den Auswirkungsbereich Energie. Es sind sowohl die heutigen Kosten/Erträge (Referenzszenario) als auch die zukünftigen (Szenarien schwach und stark) aufgeführt. Die grün markierten Gefahren/Effekte stellen Chancen dar, die rot markierten Risiken.***

Muren, Erdrutsch und Hangmuren haben bereits heute nur geringe Auswirkungen auf die Kosten des Auswirkungsbereichs Energie. Die Änderungen der Häufigkeit und Intensität dieser Prozesse wird auch in Zukunft keinen grossen Einfluss auf die Risiken haben. Die Änderungen im Niederschlagsregime werden hingegen zu einem markanten Rückgang der Erträge der Stromproduktion mittels Wasserkraftwerken führen.

Die Zunahme der Mitteltemperatur wird zu einem geringeren Energiebedarf zum Heizen im Winter und zu einem grösseren Energiebedarf zum Kühlen im Sommer führen. Im Tessin, wo im Sommer die Maximaltemperaturen sehr hoch sein werden und die Winter eher mild

ausfallen, wird das Risiko einer Erhöhung des Energiekonsums zum Kühlen von Gebäuden und Fahrzeugen eine grosse Bedeutung haben. Wenn man die heutige sozioökonomische Situation betrachtet, ist die Chance desabnehmenden Heizenergieverbrauchs höher als das Risiko des höheren Energiekonsums zu Kühlzwecken. Anders ausgedrückt ist eine Abnahme des Heizölverbrauchs und eine Zunahme des Stromverbrauchs zum Kühlen wahrscheinlich. Aus diesem Grund ist die Veränderung der Mitteltemperatur als Chance dargestellt.

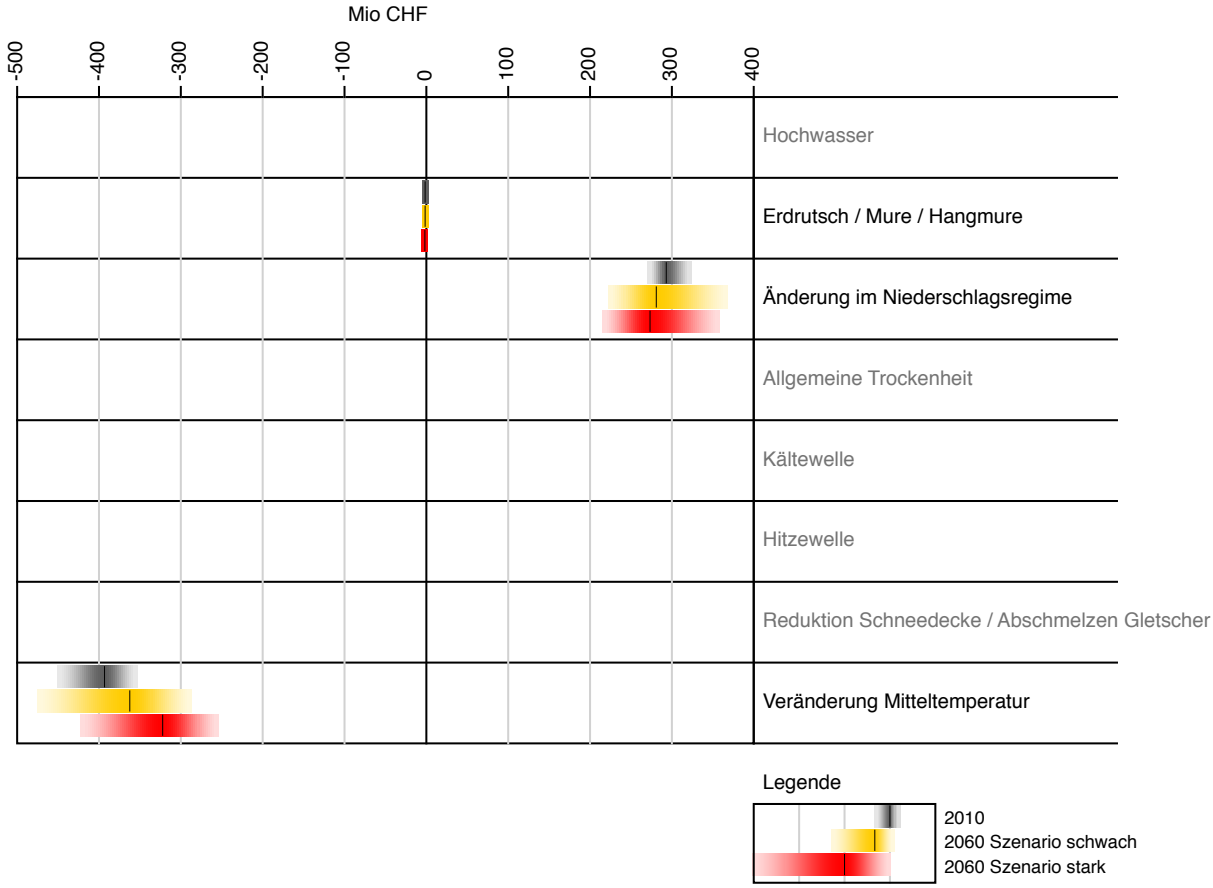


Abbildung 158: Kosten (negativ) und Erträge (positiv) pro Gefahr oder Effekt für den Auswirkungsbereich Energie unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Die Grafik zeigt den Erwartungswert (schwarze Linie) und die Unsicherheiten (farbige Balken).

Extremereignisse

In Abbildung 159 sind die Kosten ersichtlich, welche durch ein Extremereignis (einer Gefahr/ eines Effekts) beim Auswirkungsbereich Energie entstehen würden. Die Unsicherheitsbalken sind hier nicht grafisch dargestellt, da sie schwierig zu definieren sind. Es bestehen aber sicherlich sehr grosse Unsicherheiten.

Das einzige Extremereignis, das in diesem Auswirkungsbereich von Interesse ist, hängt mit dem Prozess Mure/Erdrutsch/Hangmure zusammen. Weisen diese sehr grosse Dimensionen auf, können aufgrund der Sediment- und Holzzufuhr grosse Schäden und Verluste bei Wasserkraftwerken entstehen.

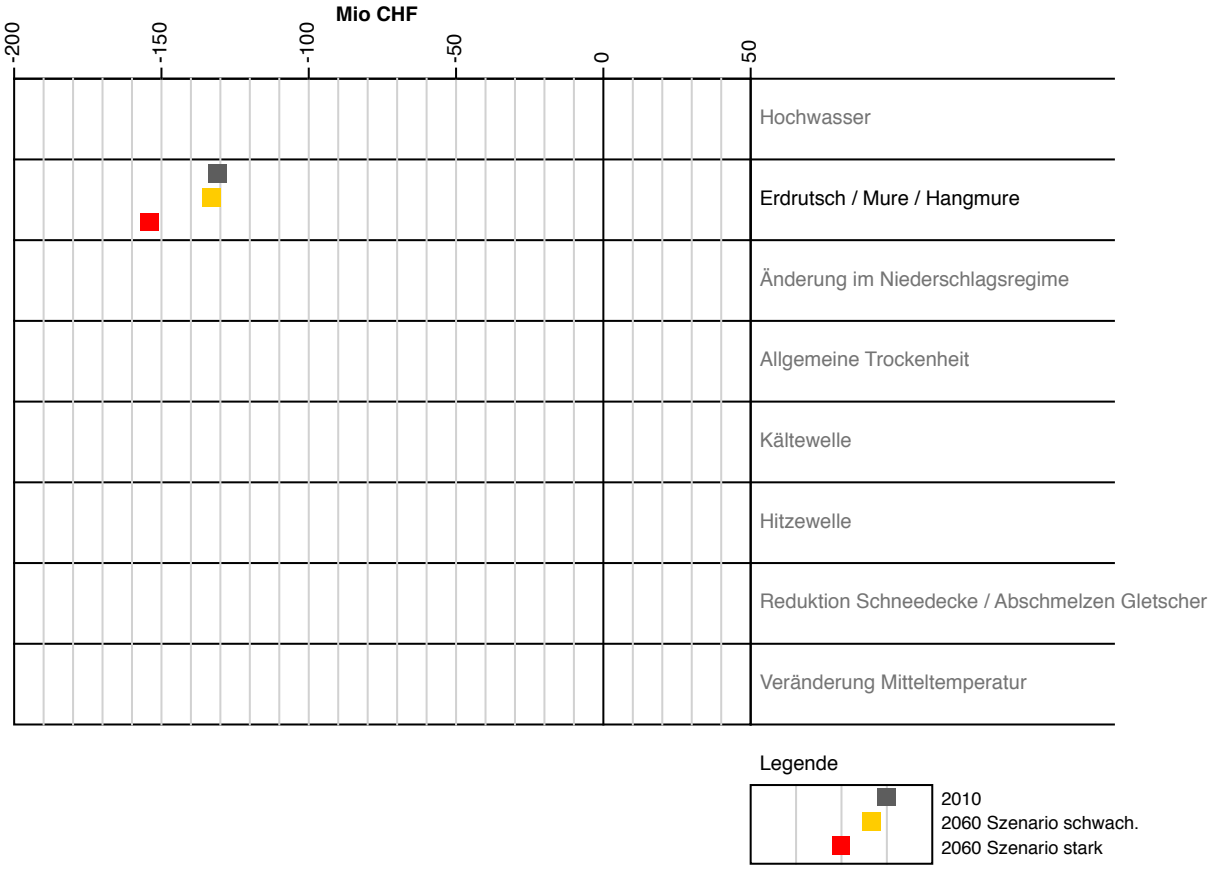


Abbildung 159: Kosten (negativ) infolge eines Extremereignisses für jede Gefahr oder Effekt im Auswirkungsbereich Energie unter den Szenarien schwach und stark.

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Energie

In Abbildung 160 ist die Summe der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Energie dargestellt.

Bei der Darstellung der Risiken ist die Zunahme der Kosten für die Kühlung, die Abnahme der Erträge der hydroelektrischen Energie infolge Änderungen im hydrologischen Regime und die Zunahme der Schäden an Wasserkraftwerken infolge von Muren, Erdrutschen und Hangmuren berücksichtigt worden. Im Mittel ist insgesamt ein Verlust (Abnahme der Erträge und Zunahme der Kosten) in der Höhe von ca. 30 Mio. Fr. unter dem Szenario schwach und von ca. 55 Mio. Fr. unter dem Szenario stark zu erwarten.

Die Chancen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Energie betreffen einzig die Abnahme des Energiebedarfs zum Heizen. Die Kosten nehmen im Mittel unter dem Szenario schwach um ca. 50 Mio. Fr. und unter dem Szenario stark ca. 106 Mio. Fr. ab.

Die Totalbilanz (unten in Abbildung 160) zeigt, dass der Klimawandel insgesamt einen positiven Effekt auf den Auswirkungsbereich Energie hat. Die Differenzen zwischen dem Referenzszenario und den zukünftigen Szenarien schwach und stark sind allerdings minim. Vor allem unter dem Szenario schwach ist zudem der Unsicherheitsbereich bedeutend.

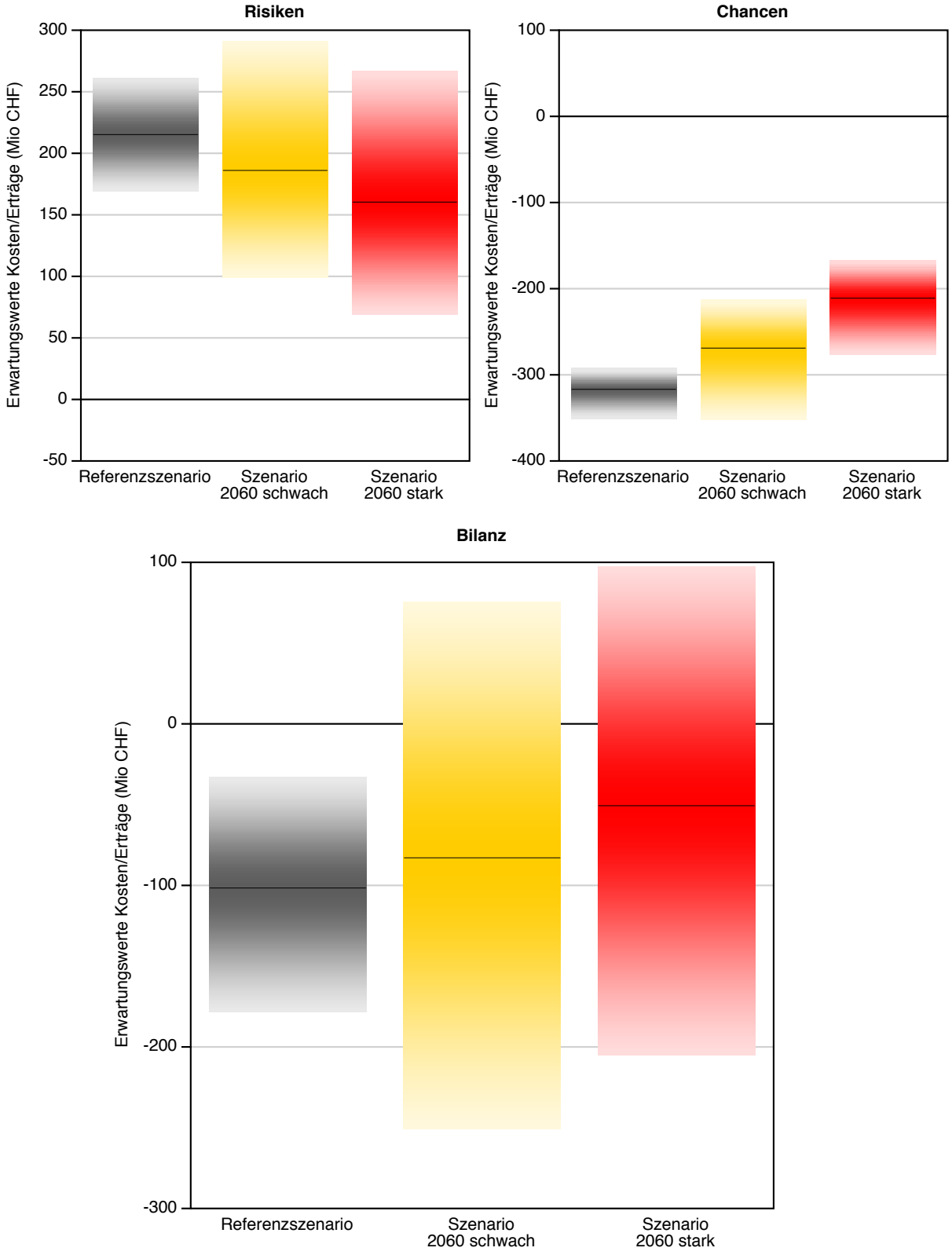


Abbildung 160: ***Oben: Risiken und Chancen des Klimawandels im Auswirkungsbereich Energie unter dem Referenzszenario und den Szenarien schwach und stark. Kosten sind mit negativen Werten und Erträge mit positiven dargestellt. Risiken repräsentieren die Abnahme, Chancen die Zunahme der Summe der Erträge plus Kosten. Unten: Totalbilanz der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Energie. Die Grafik zeigt die jeweiligen Erwartungswerte sowie die Unsicherheitsbalken.***

5.8.4. Qualitative Analyse

In Abbildung 161 ist die Relevanz der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen in Bezug zu den quantitativ ausgewerteten für den Auswirkungsbereich Energie dargestellt. Die analysierten Gefahren und Effekte des Klimawandels sind verschiedenen Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit zugeordnet und für die Szenarien schwach und stark dargestellt.

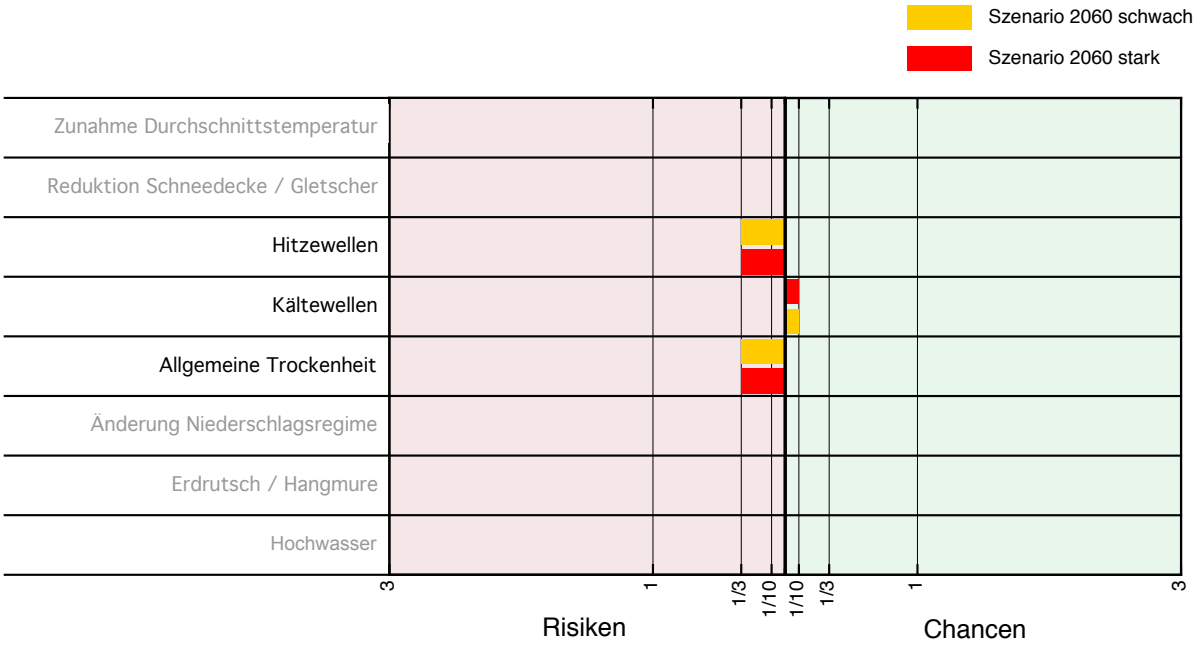


Abbildung 161: ***Qualitative Analyse der Auswirkungen mittels Abschätzungsfaktoren zur Vergleichbarkeit in Bezug zu den Gefahren/Effekten des Klimawandels unter den Szenarien schwach (gelb) und stark (rot). Die linke Hälfte (rot) stellt die Risiken dar, die rechte (grün) die Chancen.***

Die Totalbilanz zeigt, dass die qualitativ ausgewerteten Chancen (sie sind primär auf den Rückgang der Kältewellen zurückzuführen) eine **deutlich geringere** Auswirkung haben als die quantitativ ausgewerteten Chancen. Die qualitativ ausgewerteten Risiken (primär infolge Abnahme der Wasserverfügbarkeit während Trockenheit und Zunahme des Energiebedarfs während Hitzewellen) haben eine **geringere** Auswirkung im Vergleich zu den quantitativ ausgewerteten Risiken.

In Tabelle 83 sind die qualitativ ausgewerteten Auswirkungen, die für den Auswirkungsbereich Energie monetarisiert wurden, aufgeführt.

Auswirkungs-bereich	**Qualitative Auswirkungen (in Mio. Fr.)**			
	Szenario schwach		**Szenario stark**	
	Risiken	Chancen	Risiken	Chancen
Energie	-20	5	-37	11

Tabelle 83: ***Monetarisierung der qualitativ ausgewerteten Risiken und Chancen für den Auswirkungsbereich Energie unter den Szenarien schwach und stark.***

5.8.5. Sozioökonomisches Szenario 2060

Energieproduktion

Die hydroelektrische Energieproduktion im Tessin könnte in Zukunft noch erhöht werden, da heute bereits ein Leistungssteigerungspotential besteht. Das Potential macht rund 3.7 % der heutigen Gesamtleistung aus (DT/DFE, 2010).

Die Entwicklung des zukünftigen Strompreises ist äusserst schwierig vorherzusagen. Wie bereits beim Beschrieb des sozioökonomischen Szenarios in Bezug auf die Energie erwähnt (vgl. Kapitel 4.6), wird vermutet, dass dieser bis 2060 um ca. 50 % ansteigen wird.

Die Einhaltung der im Gewässerschutzgesetz festgelegten Restwassermengen (vgl. Kapitel 4.6) wird insgesamt zu Ertragseinbussen führen. Im Tessin werden sie auf zwischen 5 und 14 % der Gesamtproduktion geschätzt (DT/DFE, 2010). Für die Entwicklung des sozioökonomischen Szenarios des Auswirkungsbereichs Energie wird von einer mittleren Abnahme von 9.5 % ausgegangen.

Energieverbrauch

Wie bereits bei der Entwicklung des sozioökonomischen Szenarios für die Energie erwähnt wurden (vgl. Kapitel 4.6), wird bis 2060 ein Anstieg des Strompreises für die Konsumenten in der Höhe von 25 % erwartet (von heute 16 Rp./kWh auf ca. 20 Rp./kWh). Des Weiteren wird für das sozioökonomische Szenario angenommen, dass der Erdölpreis (beeinflusst direkt den Heizölpreis) bis 2060 um 140 % zunehmen wird.

Ausserdem wird eine Zunahme des Bedarfs an Wohnfläche, und zwar pro Kopf um rund 25 % erwartet (vgl. Kapitel 4.6). Beim erwarteten Bevölkerungswachstum von 14.2 % ist davon auszugehen, dass die gesamte klimatisierte Oberfläche im 2060 um etwa 43 % ansteigen wird.

Für den Zeithorizont 2060 geht man davon aus, dass ein Grossteil der Gebäude energetisch aufgewertet wird und der Minergiestandard von Neubauten zu einer zusätzlichen Energieeinsparung bezüglich Heizen und Kühlen der Gebäude führt. Gemäss einer Schätzung kann der Energieverbrauch zum Heizen von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden bis Mitte Jahrhundert um rund 1/3 reduziert werden (DT/DFE, 2010). Für die Kühlung von Wohngebäuden erwartet man ebenfalls eine Reduktion des Energieverbrauchs um gut 1/3 und von Büro- und Dienstleistungsgebäuden mit etwa 30 % etwas weniger.

Die Impactszenarien CH2014 prognostizieren, dass die Klimatisierung von Gebäuden (teilweise oder ganz) bis um 2050 von heute 39 auf 82 % zunehmen werden (CH2014 - Impacts, 2014). Bei einer konstanten Zunahme im Zeitraum 2014 - 2060 werden bis 2060 ca. 170 % mehr Gebäude eine Klimaanalage aufweisen. Der daraus berechnete zusätzliche Energiebedarf wird um 170 % höher sein.

Für die Berechnung des Energiebedarfs zur Kühlung von Fahrzeugen ist in erster Linie der Anstieg der Fahzeuge im Kanton Tessin von Bedeutung. Aktuell (Jahr 2013) liegt der Motorisierungsgrad (Autos) der Bevölkerung bei 0.621 Fahrzeugen/Einw. (OST - TI, 2015). Bis 2060 geht man von einer weiteren Zunahme um ca. 5 % aus. Dieses Wachstum mit dem gleichzeitigen erwarteten Bevölkerungswachstum von 14.2 % ergibt im Tessin eine Zunahme der Kraftfahrzeuge bis 2060 von 19 %.

Unter dem zukünftigen sozioökonomischen Szenario ist davon auszugehen, dass die mit einer Klimaanlage ausgestatteten Fahrzeuge weiter zunehmen werden, gleichzeitig aber auch die Effizienz der Kühlungssysteme infolge neuer Technologien zunimmt. Da beide Aspekte nur einen geringen Einfluss auf die Mehrkosten haben und da deren Wirkung sich gegenseitig aufhebt, hat die Arbeitsgruppe entschieden, diese Aspekte als hinfällig zu betrachten.

Wie der Privatverkehr wird auch die Anzahl öffentlicher Verkehrsmittel im Tessin in Zukunft infolge der grösseren Mobilität und des Bevölkerungswachstums zunehmen. In den letzten Jahren kam es zu einem Anstieg der Abonnenten im öffentlichen Verkehr des Kantons Tessin um 4.7 % (Zeitraum 1998 – 2011) (Arcobaleno, 2012). Unter dem Referenzszenario wird angenommen, dass in den nächsten 50 Jahren die Zunahme der öffentlichen Verkehrsmittel proportional zu den Arcobaleno-Abonnenten verläuft. Das Wachstum wird voraussichtlich ca. 235 % betragen. Auch in diesem Fall wird angenommen, dass der grössere Energiebedarf zum Kühlen resp. Heizen durch die bessere Effizienz der Kühl- resp. Heizeinrichtungen neutralisiert wird.

Die Unsicherheit des sozioökonomischen Szenarios für den Auswirkungsbereich Energie wird als **gering** beurteilt.

Sozioökonomisches Szenario Energie

Gefahr/Effekt	Kosten/Erträge heute (in Mio. Fr.)			Faktor zur Umrechnung	Kosten/Erträge 2060 (in Mio. Fr.)		
	Min.	Mitt.	Max.		Min.	Mitt.	Max.
Mure/Erdrutsch/Hangmure							
Entfernung von Material aus Stauseen und Produktionsrückgang resp. -ausfall	-1.2	-1.5	-2.0	1.0	-1.2	-1.5	-2.0
Änderung im Niederschlagsregime							
Stromproduktion	273	293	322	1.4	330	413	536
Veränderung der Mitteltemperatur							
Heizen von Gebäuden	-292	-314	-346	2.8	-805	-866	-953
Heizen von öffentlichen Verkehrsmitteln	-2.3	-2.4	-2.7	4.2	-9	-10	-11
Kühlung von Wohngebäuden	-13	-17	-22	3.9	-52	-65	-84
Kühlung der privaten Strassenverkehrsmittel	-14	-18	-23	2.9	-41	-51	-67
Kühlung von öffentlichen Verkehrsmitteln	-2.1	-2.7	-3.5	4.2	-9	-11	-15
Kühlung von Industrie- und Dienstleistungsgebäuden	-32	-40	-51	4.0	-128	-160	-208
Total	**-179**	**-103**	**-36**	**-**	**-831**	**-618**	**-443**

Tabelle 84: ***Sozioökonomisches Szenario für den Auswirkungsbereich Energie. Die sozioökonomischen Risiken und Chancen sind mittels eines Faktors zur Umrechnung für jede Gefahr/jeden Effekt hergeleitet worden.***

Das sozioökonomische Szenario für den Auswirkungsbereich Energie (wie in Tabelle 84 und Abbildung 162 ersichtlich) zeigt, dass in Zukunft (ohne Berücksichtigung des Klimawandels) die Kosten kontinuierlich zunehmen werden. Die Zunahme ist primär auf den grösseren Energiebedarf für das Heizen und die steigende Anzahl Gebäude mit Klimaanlagen zurückzuführen.

Durch den Vergleich der prognostizierten Änderungen des sozioökonomischen Szenarios mit den Szenarien schwach und stark, lässt sich folgern, dass die sozioökonomischen Änderungen einen deutlich grösseren Einfluss auf die Kosten und Erträge haben als der Klimawandel.

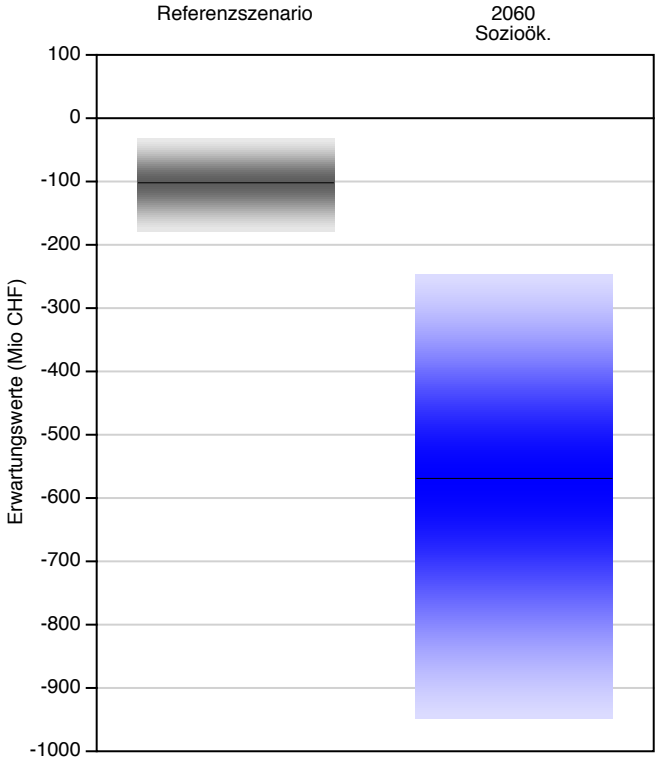


Abbildung 162: Grafische Darstellung der heutigen Kosten/Erträge und jener unter dem sozioökonomischen Szenario (Annahme, dass das Klima konstant bleibt) für den Auswirkungsbereich Energie. Die Grafik zeigt den Erwartungswert und die Unsicherheiten.

5.8.6. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Energie

Die Analyse (qualitativ und quantitativ) der Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Energie hat bedeutende Risiken und Chancen gezeigt. Die Risiken des Klimawandels erwiesen sich als **negativ** (Kosten von ca. 50 Mio. Fr./Jahr) unter dem Szenario schwach und **sehr negativ** (Kosten von ca. 90 Mio. Fr./Jahr) unter dem Szenario stark. Die Chancen zeigten sich sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark als **sehr positiv** (Erträge von ca. 55 Mio. Fr/Jahr resp. 115 Mio. Fr./Jahr). Insgesamt sind die Auswirkungen unter dem Szenario schwach **leicht positiv** (Chance in der Höhe von ca. 5 Mio. Fr./Jahr) und **positiv** unter dem Szenario stark (Chance in der Höhe von ca. 25 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf den Bereich Energie erwiesen sich hingegen als **sehr negativ (**Kosten in der Höhe von 460 Mio. Fr./Jahr) (siehe auch Abbildung 1).

5.9. BIODIVERSITÄT

5.9.1. Wichtigste Parameter: Ausgangslage

Biodiversität[24] wird definiert als Vielfalt der Lebensformen der Erde und bezieht sich auf die genetische Vielfalt (sog. genetische Variabilität), die Artenvielfalt und die Vielfalt der Ökosysteme. Die drei Stufen sind miteinander verknüpft, wobei sie sich gegenseitig aufrechterhalten. Die genetische Variabilität ist die Basis der Anpassungsfähigkeit und der Evolution von Arten. Die Artenvielfalt sichert das Funktionieren und die Existenz von Ökosystemen. Die Vielfalt der Ökosysteme bietet den Menschen wichtige Leistungen (Ökosystemleistungen wie z.B. die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser, die Fruchtbarkeit von Böden, die Stabilität von Hängen und die landwirtschaftliche Produktion).

Das Tessin weist eine besonders grosse Vielfalt von Ökosystemen und biologischen Gemeinschaften auf. Folglich ist auch der Artenreichtum im Vergleich zu anderen Schweizer Kantonen (vgl. Kapitel 2.2.9) gross. Die geografische Lage des Tessin im „Knotenpunkt“ wichtiger biogeografischer Gebiete in Europa (vgl. Abbildung 163) und die unterschiedlichen Klimas (subtropisch-mediterran, ozeanisch und alpin-kontinental) lassen vermuten, dass nebst dem erwähnten Artenreichtum, auch eine erhöhte genetische Vielfalt der vorhandenen Organismen besteht.

Abbildung 163: Die wichtigsten Biome Europas. Die Südschweiz befindet sich in einem wichtigen „Knotenpunkt“ (Quelle: www.printable-maps.blogspot.ch).

[24] In Kapitel 5.9.6 befindet sich ein Glossar mit den Fachbegriffen des Auswirkungsbereichs Biodiversität.

Biotope und Ökosysteme

Im Tessin finden sich mehr als 600 Lebensräume und Gebietseinheiten, welche besonders wichtig sind im Zusammenhang mit dem Erhalt der Biodiversität (vgl. Abbildung 164). Sie sind im Inventar der national und kantonal bedeutenden Lebensräume aufgeführt:

- Trockenwiesen und -weiden
- Hoch- und Übergangsmoore
- Feucht- und Nasswiesen
- Auengebiete
- Amphibienlaichgebiete
- Landschaften und Naturdenkmäler

Nebst den oben aufgeführten finden sich zahlreiche andere geschützte Gebiete:

- Wasservogel- und Zugvogelreservate
- Nationale Jagdschutzgebiete
- Fliessgewässer nationaler Bedeutung für Nase, Äsche und Flusskrebs
- Waldreservate
- Das Schutzgebietsnetzwerk Smaragd
- Nationales ökologisches Netzwerk (REN)

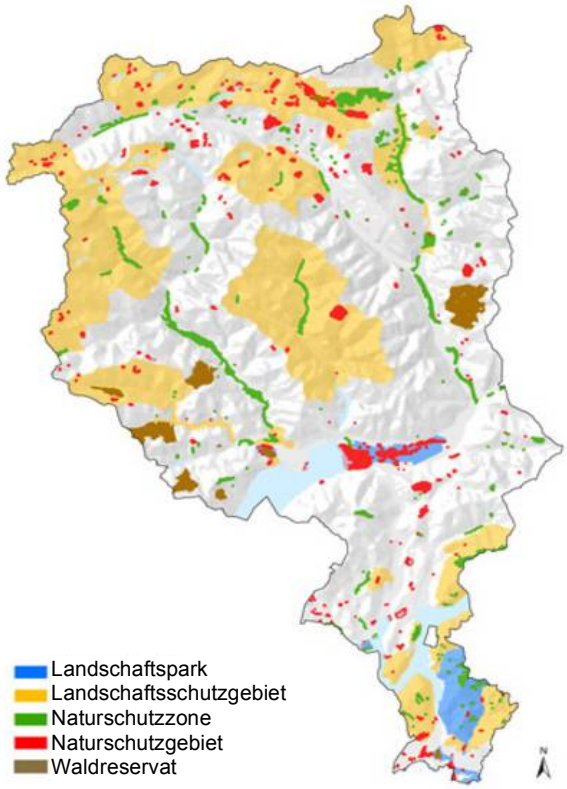


Abbildung 164: Geschützte Gebiete des Tessins (Quelle: www.ti.ch).

Artenvielfalt

Obwohl die Gesamtanzahl der im Tessin vorkommenden Arten nicht genau bekannt und auch schwierig abschätzbar ist, ist es wahrscheinlich, dass es mehr als 50‘000 sind, wenn auch Protisten (einzellige Organismen ohne differenziertes Gewebe), Algen und Prokaryoten (Bakterien; vgl. Tabelle 85) dazugezählt werden. Aufgrund der zahlreichen Nunataks (eisfreie Gebiete) während der letzten Eiszeit und wegen des insubrischen Mesoklimas sind die endemischen Arten (nur in einem bestimmten Gebiet begrenzter Ausdehnung vorkommend) relativ zahlreich (z.B. *Androsace brevis* (Hegetschw.) Ces. der insubrischen Alpen und *Duvalius longhii* (Comolli 1837) am Monte Generoso).

Taxon	Artenreichtum	Absolute und prozentuale Anzahl bedrohter Arten (Rote Liste)	Absolute und prozentuale Anzahl geschützter Arten (auf kantonaler Ebene)
Moose	ca. 750	*	118 (16 %)
Gefässpflanzen	ca. 2'400	873 (36 %)	252 (10.5 %)
Pilze	ca. 3'500	*	20 (0.5 %)
Baum- und Bodenflechten	ca. 275	193 (70 %)	42 (15 %)
Wirbeltiere (Vertebrata)	42 Fische 13 Amphibien 15 Reptilien 140 Brutvögel 66 Säugetiere	14 (33 %) * * * *	** 13 (100 %) 15 (100 %) ** **
Wirbellose Tiere (Invertebrata)	ca. 40'000	*	179 (ca. 0.5 %)
Total	47'201	-	-

**** Es existiert keine regionale Rote Liste für das Tessin***
***** Alle Arten sind geschützt, mit Ausnahme der jagd- und fischbaren***

Tabelle 85: Die wichtigsten Taxa, sowie deren Artenreichtum (Schätzungen oder genaue Anzahl), Gefährdung und Schutz. Nicht berücksichtigt worden sind Protisten, Algen und Prokaryoten, von welchen keine kantonsspezifischen Daten vorliegen.

Genetische Variabilität

Die genetische Variabilität innerhalb der einzelnen Arten ist äusserst wichtig für deren Anpassung an Änderungen der Umweltbedingungen. Eine breite genetische Vielfalt ermöglicht die Anpassung an veränderte Bedingungen (die Wahrscheinlichkeit ist grösser, dass die Arten Genotypen aufweisen, welche sich für neue Zustände gut eignen) und damit das Überleben und den Erhalt der Arten und deren Funktion im Ökosystem.

Die Informationen über die genetische Variabilität der im Tessin vorkommenden Arten sind lückenhaft. Es sind dennoch zahlreiche Pflanzenarten bekannt (z.B. *Paeonia officinalis* auf dem Monte Generoso oder *Adenophora liliifolia* auf dem Monte San Giorgio), die das Vorhandensein von seltenen oder einzigartigen Genotypen vermuten lassen. Einige im Tessin lebende Arten weisen, wenn sie mit der genetischen Vielfalt ihres Ursprunggebiets vergli-

chen werden, eine einzigartige genetische Zusammensetzung auf (z.B. *Cistus salviifolius:* Die im Tessin lebenden Populationen weisen einzigartige Genotypen auf, welche sich von den Populationen im Mittelmeerraumunterscheiden). Besser bekannt ist hingegen die genetische Vielfalt der kultivierten Pflanzen und deren verwandten Wildarten, dies weil sie eine Ressource für die Landwirtschaft und die Ernährung sind (BLW, 2015).

5.9.2. Gefahren und Effekte 2060

Basierend auf der Relevanzmatrix (vgl. Tabelle 41) müssen im Auswirkungsbereich Biodiversität folgende Gefahren und Effekte analysiert werden: Änderung im Niederschlagsregime, Allgemeine Trockenheit, Waldbrand, Kältewelle, Hitzewelle, Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher, Veränderung Mitteltemperatur, und Sturm/Orkan. Die von jeder Gefahr oder jedem Effekt ausgehenden qualitativ ausgewerteten Auswirkungen finden sich in Tabelle 86.

Eine schematische Darstellung der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Biodiversität ist in Abbildung 165 ersichtlich.

Die Auswertung des Auswirkungsbereichs Biodiversität umfasst die Auswirkungen (z.B. Änderungen in Lebensgemeinschaften und in Ökosystemen), welche keine direkten Folgen auf den Menschen und seine Aktivitäten haben. Bei der Auswertung der Auswirkungen – im Unterschied zu den anderen Auswirkungsbereichen – wird somit zwischen „Schäden“ (z.B. durch invasive Neobiota verursacht) und „Nutzen“ (z.B. die Ausweitung von gewissen Biotopen) und nicht wie bisher zwischen „Kosten“ und „Erträge“ unterschieden.

Die Änderungen der Biodiversität, welche direkte Auswirkungen auf den Menschen und seine Aktivitäten ausüben, werden in Auswirkungsbereichen erläutert, die näher an der jeweiligen Auswirkung liegen (z.B. die Verbreitung von Vektoren exotischer Krankheiten im Auswirkungsbereich Gesundheit).

Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Damit die Biodiversität und die Ökosystemleistungen langfristig erhalten bleiben, hat der Bund eine nationale Strategie mit Zielen erarbeitet. Ein Aktionsplan konkretisiert die Ziele und präsentiert die erforderlichen Massnahmen (BAFU, 2012b).

Der Bund hat im ersten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sogenannte Handlungsfelder formuliert. In der Tabelle 86 sind in der zweitletzten Spalte Handlungsfelder aufgeführt, welche zu den entsprechenden Risiken und Chancen des Kantons Tessin passen. In der letzten Spalte der Tabelle sind die Massnahmen des Bundes zur Reduktion der Risiken und Nutzung von Chancen aufgezeigt. Die Massnahmen selber stammen aus dem zweiten Teil der Strategie des Bundes (siehe Kapitel 2.1). Eine Erklärung der Abkürzungen der Handlungsfelder wird in Anhang A1 gezeigt.

Für den Auswirkungsbereich Biodiversität sind vor allem folgende Handlungsfelder relevant: B1(Genpool), B2 (Lebensräume und Arten) und B5 (Ökosystemleistungen). Die damit verbundenen Risiken können insbesondere mittels folgender Massnahmen abgeschwächt werden: b1 (Risikoabschätzung und Managementprüfung für besonders betroffene (Teil-) Populationen, Arten und Lebensräume) und b3 (Sicherstellung ökologischer Mindestanforderungen und Aufwertungsmassnahmen für auf ausreichende Wasserversorgung besonders angewiesene Lebensräume).

Gefahr/Effekt	Qualitativ ausgewertete Auswirkungen	Handlungs-felder	Mass-nahmen
Änderung im Niederschlags-regime	Änderungen in der Zusammensetzung der biologischen Gemeinschaft, Zunahme oder Abnahme von gewissen Arten.	B1; B2; B5	b1; b3; b4
	Änderungen der Seepegel und Grundwasserspiegel; Zerstörung bestehender Biotope oder Entstehung neuer Biotope.	B1; B2; B5	b1; b3; b4
Allgemeine Trockenheit	Austrocknung von Quelllebensräumen (Quellfluren), von Moor-, Feucht- und Nasswiesen. Verlust von Arten, die in feuchten Biotopen leben.	B1; B2; B5	b1; b3; b4
	Zunahme der Sterberate der Mikrofauna im Boden.	B1; B2; B5	b1; b3; b4
	Zunahme der trockenresistenten Arten.	B1; B2; B5	b1; b3
Waldbrand	Zunahme der Waldbrände: Zunahme von Pionierwäldern, Auswirkung auf die Artenvielfalt und die Vielfalt der Lebensräume.	B5	b3
	Unterdrückung der Verbreitung von exotischen immergrünen Arten in Wäldern. Zunahme von exotischen Pionierpflanzen.	B3; B5	b6
Kältewelle	Abnahme der Einschränkung der Verbreitung von allochthonen, thermophilen und invasiven Organismen.	B3; B5	b1; b3; b6
Hitzewelle	Absterben von Individuen, Aussterben von Populationen aufgrund der Überschreitung der physiologischen Toleranzgrenze.	B1; B2; B5	b1; b2; b3
	Abnahme des gelösten Sauerstoffs in Fliess- und stehenden Gewässern, Sauerstoffmangel und Absterben der aquatischen Flora und Fauna.	B1; B2; B5	b1; b2; b3
	Zunahme des menschlichen Drucks auf empfindliche Ökosysteme (Fliess- und stehende Gewässer mit natürlichen Ufern).	B1; B2; B5	b1; b2; b3
Reduktion Schneedecke/ Abschmelzen Gletscher	Änderung des Wasserangebots infolge der Schneeschmelze und Auswirkung auf den Jahresverlauf des Abflusses. Verlust von Biotopen und Lebensgemeinschaften in Schneefeldern (Schneetälchen). Verlust der mikrobiologischen Gemeinschaften, die eine Abhängigkeit mit Eis aufweisen und der darauf basierten Nahrungsketten.	B1; B2; B5	b1; b3; b5
	Bildung neuer Lebensräume in hohen Lagen.	B1; B2; B5	b1; b3; b5
Veränderung Mitteltempe-ratur	Änderungen in den biologischen Gemeinschaften, Migration von Arten in höhere Gebiete, Abnahme der Lebensräume kryophiler Arten.	B1; B2; B4; B5	b1; b2; b3; b5
	Verlust der Gemeinschaften in alpinen und nivalen Höhenstufen.	B1; B2; B4; B5	b1; b2; b3; b5
	Zunahme der Fliess- und stehenden Gewässer, Nachteile für die Gemeinschaft aquatischer Organismen.	B1; B2; B5	b1; b2; b3
	Zunahme der Entwicklung (somit der jährlichen Lebenszyklen) und Zunahme der Populationsgrössen von einigen Insekten und thermophilen Pflanzen.	B1; B2; B5	b1; b2; b3
	Zunahme der Ausbreitung thermophiler Arten, Immigration von neuen exotischen thermophilen Arten.	B1; B2; B3; B4; B5	b1; b2; b3
	Zunahme des Auftretens invasiver Neobiota.	B3	b6
Sturm/Orkan	Änderung der Pionierwaldfläche (Zunahme von Pionierpflanzen). Änderung der Verbreitung von saproxylophagen Arten.	B1; B3	b6

Tabelle 86: ***Ausgewertete Auswirkungen der wichtigsten Gefahren und Effekte des Klimawandels für den Auswirkungsbereich Biodiversität. Alle Auswirkungen wurden qualitativ ausgewertet. Die Risiken sind in rot, die Chancen in grün und die mittels Sensitivitätsanalyse ausgewerteten in blau umschrieben.***

Wirkungsmodell

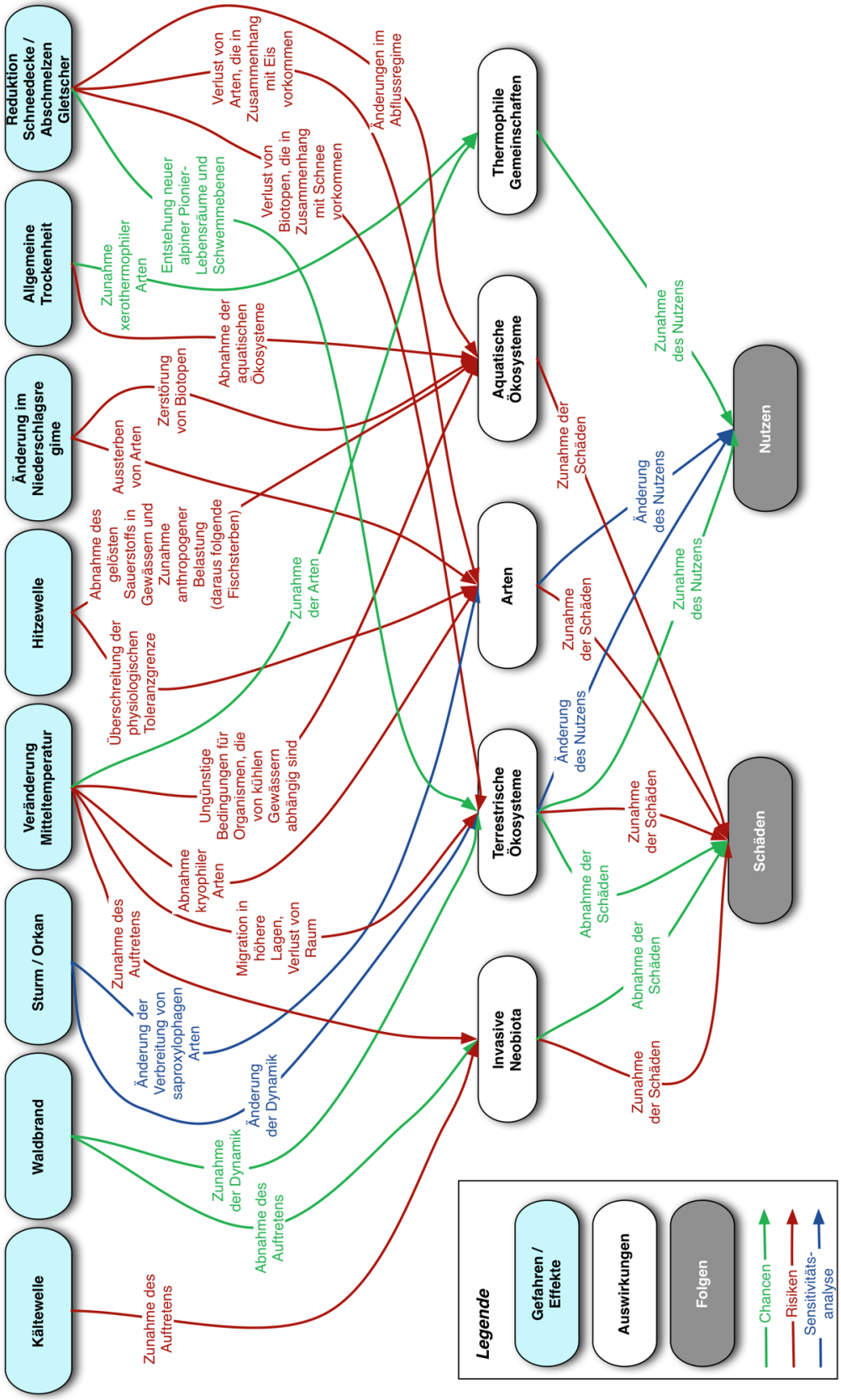


Abbildung 165: Schematische Darstellung der wichtigsten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Biodiversität.

Änderung im Niederschlagsregime

Qualitative Auswirkungen

Allgemeine Betrachtungen

Das Niederschlagsregime bestimmt gemeinsam mit den monatlichen Mitteltemperaturen die Verteilung der grossen terrestrischen Lebensräume (vorherrschende Vegetationstypen wie z.B. Wüsten, Steppen oder Wälder; vgl. Abbildung 163). Ein Wald (Laubwälder, sklerophylle und laurophylle Pflanzen), zum Beispiel, kann sich erst ab einem mittleren Jahresniederschlag von 500 - 600 mm entwickeln. Unterhalb dieser natürlichen Grenze entwickeln sich anstellen von Wäldern Wiesenökosysteme wie Steppen oder, in besonders kalten Gebieten, Tundren (Schultz, 2000). Da die Niederschläge unter beiden zukünftigen Szenarien über 500 - 600 mm pro Jahr bleiben werden, hat deren Änderung keine Auswirkung auf die zonale Vegetation oder auf die fürs Makroklima charakteristischen Ökosysteme (sommergrüne Laubwälder). Die azonale Vegetation, welche in der Regel nur kleinflächig vorkommt, da sie von lokalen Faktoren wie dem Mikroklima beeinflusst wird, die speziellen Eigenschaften des Bodens (z.B. Rutsch- oder wassergesättigte Gebiete) und die Höhenstufen werden hingegen durch die Änderung des Niederschlagsregimes beeinflusst. Gleichzeitig kommt ein wichtiger Teil der Biodiversität in diesen azonalen Lebensräumen vor (vgl. nachfolgende Abschnitte: Moor-, Feucht- und Nasswiesen, Fliess- und stehende Gewässer, Trockenwiesen und -wälder).

Moor-, Feucht- und Nasswiesen

Das Vorkommen und die biologische Qualität von Mooren und Feucht- und Nasswiesen sind direkt mit dem Niederschlagsregime gekoppelt. Die Moore hängen aufgrund ihres Wasserbedarfs stark von Niederschlagswasser ab. Sie sind zwar relativ artenarm, sind jedoch wichtige Refugien für seltene arktisch-boreale Arten, welche hochspezialisiert und einzigartig sind (Delarze & Gonseth, 2015). Aufgrund ihrer hohen Sensibilität gegenüber Austrocknung und Eutrophierung würden sie infolge einer Abnahme der Niederschläge, insbesondere während der Vegetationszeit (Frühjahr – Herbst), grossflächig geschädigt. Heute existieren in der Schweiz weniger als 10 % der früheren Moorfläche und bereits 23 % der Moore weisen Probleme in Zusammenhang mit Austrocknungen auf (Klaus & al., 2007). Gemäss den für Österreich entwickelten Modellen werden bis 2050 85 % der Moorgebiete hohen klimatischen Risiken ausgesetzt sein (Niedermair & al., 2011). Im Tessin existieren 18 Moorgebiete von nationaler Bedeutung, welche eine Oberfläche von ca. 54 ha bedecken, was 0.02 % der gesamten Kantonsfläche ausmacht (Schweizerische Eidgenossenschaft, 1991). Es ist berechtigt anzunehmen, dass falls die Austrocknung von Mooren weiterschreitet, unter dem Szenario stark im Tessin zahlreiche Moore komplett austrocknen werden. Dadurch wird die genetische Vielfalt der dort lebenden Arten abnehmen und es werden verschiedene Arten lokal aussterben. Beispielsweise wird die Pflanze *Potamogeton polygonifolius* Pourr., welche schweizweit und im Tessin (südliches Tessin) nur ganz vereinzelt vorkommt (Info Flora, 2015), ohne geeigneten Massnahmen nahezu sicher aussterben. Davon betroffen ist z.B. jene, die im Moorgebiet Gola di Lago vorkommt (Giugni, 1995).

Die Feucht- und Nasswiesen, welche vom Grundwasser, dem Oberflächenabfluss und direkt vom Niederschlag gespeist werden, sind wahrscheinlich weniger stark von Austrocknungserscheinungen betroffen. Jedoch sind auch sie vom geringeren Wasserangebot aufgrund

der Abnahme des Grundwasserspiegels, den geringeren Abflüssen, der Abnahme des Niederschlags sowie von den längeren Trockenperioden betroffen. Im Tessin kommen 54 Feucht- und Nasswiesen von nationaler Bedeutung vor. Diese sind über alle Höhenstufen verteilt (Schweizerische Eidgenossenschaft, 1994). Als besonderer und seltener Lebensraum weisen sie generell eine hohe Biodiversität auf. Gleichzeitig sind viele von ihnen bereits heute in ihrer Existenz bedroht. So sind rund 55 % der Pflanzenarten von Feucht- und Nasswiesen der biogeografischen Zone der Alpensüdseite (Tessin und Misox) heute in der Roten Liste der gefährdeten Arten erfasst (Moser & al.). In der Schweiz kommt ein grosser Teil dieser Arten nur im Tessin vor, wie z.B. die *Ludwigia palustris* (L.) Elliott, welche nur in einigen Feuchtgebieten der Magadinoebene vorkommen, die *Cardamine matthioli* Moretti, welche in einigen Feuchtwiesen des Sottoceneri zu finden ist und die Orchidee *Serapias vomeracea* (Burm. f.) Briq., welche in speziellen feuchtvariablen Gebieten der kollinen Stufe verbreitet ist (Info Flora, 2015).

Fliess- und kleine stehende Gewässer

Die durch Änderungen im Niederschlagsregime am stärksten beeinflussten Ökosysteme sind Fliess- und stehende Gewässer. In den Flüssen wird sich der Jahresverlauf der Abflüsse ändern, u.a. wird es insbesondere im Tessin zu häufigeren Niedrigwasserständen kommen (BAFU, 2012a). Tiefe Pegel im Sommer mit der gleichzeitigen Zunahme der mittleren Lufttemperatur könnten für die Ökologie (insbes. die Fischfauna, welche bereits heute gefährdet ist) in Fliessgewässern weitreichende negative Folgen haben. Mehr als 58 % der in der Schweiz lebenden Fischarten sind in der Tat in der Roten Liste gefährdeter Fischarten verzeichnet und 14 % sind bereits ausgestorben (BAFU, 2007). Das Absinken des Grundwasserspiegels würde mit grosser Wahrscheinlichkeit in den Sommermonaten zur Austrocknung von zahlreichen Teichen der Talböden (weisen bereits heute Wassermangel auf), oder sogar zum Verschwinden dieser Ökosysteme in einigen Gebieten führen, wodurch ein zusätzlicher Druck auf die dortige Biodiversität erzeugt wird. Bereits heute sind auf der Alpensüdseite 75 % der aquatischen Pflanzen gefährdet, zahlreiche von ihnen sind schweizweit nur im Tessin beheimatet (Moser & al.), während landesweit 14 Amphibienarten von 20 in der Roten Liste der gefährdeten Arten (BAFU, 2005). Ohne geeignete Massnahmen, könnte der Alpen-Kammmolch (*Triturus carnifex,* Laurenti, 1768), der Italienische Laubfrosch (*Hyla intermedia* Boulenger, 1882) und der Italienische Springfrosch (*Rana latastei* Boulenger, 1879), alle nur im Tessin vorkommend, aussterben; negative Auswirkungen infolge der Abnahme des Niederschlags im Frühjahr und Sommer auf deren Umwelt und Reproduktion sind sehr wahrscheinlich.

Andererseits könnte das Absinken der Pegel der insubrischen Seen im Sommer die Bildung von hygrophilen (feuchtliebend) und sehr seltenen Pflanzen von besonders hohem biologischen Wert favorisieren. Ein Beispiel hierfür sind die Zwergbinsen, die an Sandstränden wachsen, welche während den Sommermonaten bestehen, (Delarze & Gonseth, 2015), insbesondere am Lago Maggiore (Bolle di Magadino und Mündung der Maggia). Die starken Schwankungen der Seepegel zwischen den einzelnen Jahreszeiten könnten auch die Verbreitung von Wiesen mit Strandling (*Littorella uniflora* (L.) Asch.) fördern, welche spezielle Lebensräume mit sehr seltenen Arten darstellen (Käsermann, 1999). Die Regulierung der Pegel der Seen und deren Nutzung als Wasserspeicher, für die hydroelektrische Produktion und die Bewässerung (insbes. Lago Maggiore) könnten diese Auswirkungen von Trockenheit abmildern.

Trockenwiesen und xerische Wälder

In der Schweiz gibt es ca. 3000 Trockenwiesen und –weiden von nationaler Bedeutung, davon finden sich 108 im Tessin (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2010). Aufgrund der geografischen Lage des Tessins im Süden der Alpen und zahlreicher Erhebungen, welche exponierte Hänge aufweisen, gibt es im Tessin besonders viele xerothermophile Wälder (bevorzugen Hitze und Trockenheit). Es ist sehr wahrscheinlich, dass bei einem trockeneren Klima, die Vegetation mit submediterranem Charakter, welche in tiefen Lagen entlang des südlichen Rands der Alpen verbreitet ist, deutlich zunehmen wird (Theurillat & Guisan, 2001).

Davon profitieren, werden in erster Linie die thermophilen Trockenwiesen, wie z.B. die insubrischen Trockenwiesen mit Steifhalm (*Cleistogenes serotina* (L.) Keng), die Eichen und Flaumeichen und die Manna-Eschen und die Europäische Hopfenbuche (seltene submediterrane Arten) (Delarze & Gonseth, 2015). Einige invasive allochthone und immergrüne Arten, wie insbes. *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl. und *Cinnamomum glanduliferum* (Wall.) Meisn. werden durch Jahresniederschläge unterhalb von 1'400 mm beeinträchtigt. Deren Verbreitung kann aufgrund von Trockenstress abnehmen, wodurch wiederum die Verbreitung submediterraner und mediterraner sklerophyller Arten begünstigt wird (Berger & Walther, 2006).

In Anbetracht der zuvor erläuterten Punkte wertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang mit der Änderung im Niederschlagsregime auf den Auswirkungsbereich Biodiversität als **mässig relevant** unter dem Szenario schwach und **sehr relevant** unter dem Szenario stark. Die Chancen werden hingegen als **sehr wenig relevant**unter dem Szenario schwach und **wenig relevant** unter dem Szenario stark eingestuft (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Allgemeine Trockenheit

Qualitative Auswirkungen

Terrestrische Biotope

Langandauernde Trockenperioden führen zu einer Abnahme des Wasserangebots in terrestrischen Gebieten. Durch das vermehrte Auftreten von Trockenperioden sind negative Auswirkungen auf feuchte und mesophile Gebiete zu erwarten. Gleichzeitig profitieren Trockenbiotope, deren Fläche zunehmen könnte (vgl. vorheriges Kapitel). Längere Trockenperioden können zum Absterben von mehrjährigen Pflanzen und der in den oberen Bodenschichten lebenden Fauna führen. Wenn sich diese Perioden kontinuierlich wiederholen, können die mehrjährigen Pflanzenarten teilweise von annuellen Arten (keimen, blühen, versamen und absterben innerhalb einer Saison) ersetzt werden, deren Lebenszyklus besser an Wassermangel und kahle Böden angepasst sind. In gewissen Situationen ist es möglich, dass in trockeneren Gebieten des Kantons (Riviera, Blenio und Leventina) die Baumvegetation im Bereich von südexponierten Hängen mit geringmächtigen Böden stellenweise durch Steppen- oder Strauchvegetation ersetzt wird. Tatsächlich sind dort bereits im Jahr 2003 zahlreiche Bäume aufgrund der Trockenheit abgestorben. In anderen Situationen, wie z.B. im Bereich von geringmächtigen Böden der Kalkmassive im Sottoceneri, ist es möglich, dass infolge von Trockenperioden (vgl. vorheriges Kapitel) xerophile Wälder durch Felsensteppen,

was artenreiche Formationen ohne Baumvegetation sind, ersetzt werden (Delarze & Gonseth, 2015). Eine Bilanz in Bezug auf die Biodiversität zu ziehen erweist sich diesbezüglich als schwierig. Da jedoch Trockenperioden immer ein Risiko für die Umwelt darstellen, ist generell eine negative Auswirkung auf die Biodiversität zu erwarten.

Aquatische Lebensräume

Trockenperioden können zur Austrocknung von kleinen Fliess- sowie stehenden Gewässern führen. Je nach Wiederkehrperiode können sie die Reproduktion der Fauna beeinträchtigen, welche vom Wasser abhängig ist (Fische, Amphibien und Invertebraten). Auch Quellen und Quellfluren könnten austrocknen. Da es sich dabei um empfindliche Systeme handelt, werden auch diese durch Änderungen der äusseren Bedingungen beeinträchtigt (Delarze & Gonseth, 2015). Andererseits würden hygrophile annuelle Pflanzen vorübergehend von trockenen Seegründen profitieren. Eine vollständige Austrocknung von ganzen Fliessgewässern könnte zum Absterben von aquatischen Organismen führen oder zumindest zum Verlust der ökologischen Durchgängigkeit infolge von Unterbrüchen des aquatischen Lebensraums (z.B. die Bildung von nicht mehr untereinander verbundenen Wasserflächen).

In Anbetracht der zuvor erläuterten Zusammenhänge wertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang mit der Allgemeinen Trockenheit auf den Auswirkungsbereich Biodiversität als **mässig relevant** unter dem Szenario stark. Die Chancen werden unter demselben Szenario als **sehr wenig relevant** eingestuft (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3). Da unter dem Szenario schwach keine Änderung bezüglich allgemeiner Trockenheit erwartet wird, sind für dieses Szenario auch keine Risiken und Chancen ausgewertet worden.

Waldbrand

Qualitative Auswirkungen

Die Auswirkung von Waldbränden auf die Biodiversität hängt vor allem von deren Regime und ihrer Wiederkehrperiode ab. Bei punktuellen Ereignissen tendieren die von Waldbrand betroffenen Wälder, auch in Abhängigkeit ihrer Typologie, relativ rasch den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen. Sie weisen somit oft eine grosse Regenerationsfähigkeit auf (Moretti & Conedera, 2003). Ein punktuelles Ereignis würde teilweise und temporär eine Pionierphase bewirken und kurzfristig die normalerweise in offenen Gebieten vorkommenden Arten, sowie einige auf Waldbrandflächen spezialisierte Organismen bevorteilen. Letztere können z.B. Pilze sein, welche sich nach Waldbränden aufgrund der Nährstoffe, welche durch den Waldbrand freigesetzt wurden, rasch vermehren. Ein Beispiel ist der Pilz *Geopyxis carbonaria* (Alb. & Schwein.) Sacc., der auch im Tessin vorkommt. Der Artenreichtum an Standorten, wo sich wiederholt Waldbrände ereignen (mindestens ca. 3 Ereignisse in 30 Jahren), ist hingegen deutlich grösser als in ungestörten Flächen (Moretti & Conedera, 2003). Was die Fauna betrifft, nimmt die Anzahl Arten nach einem Ereignis zu und bleibt bis 17 – 24 Jahre nach dem Ereignis hoch (Moretti & Conedera, 2005). Die durch Waldbrand am meisten profitierenden wirbellosen Arten sind jene, welche generell in lichten Wäldern vorkommen (Moretti & Conedera, 2005).

Eine Zunahme der Waldbrände, insbesondere von oberflächlichen und rasch fortschreitenden Bränden tiefer bis mittlerer Intensität, würde auch die Ausbreitung pyrophiler Arten (Organismen, welche auf Brandstellen spezialisiert sind und diese brauchen, um sich zu entwi-

ckeln) fördern. Im Tessin wächst die schweizweit einzige pyrophile Art, die salbeiblättrige Zistrose resp. *Cistus salviifolius* L. (Moretti & Conedera, 2005). Sie ist insbes. in Besenginster-Heiden (Charakterart *Cytisus scoparius* (L.) Link) bedroht. Letztere weisen einen hohen ökologischen Wert auf und wachsen auf sauren und exponierten Böden (Delarze & Gonseth, 2015).

Die Waldbrände können die Verbreitung von immergrünen, allochthonen invasiven Waldbäumen (laurophylle Arten, z.B. *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl. oder *Prunus laurocerasus* L.). einschränken. Dies deshalb, weil sich laurophylle Arten in abgebrannten Gebieten nur schwer wieder ausbreiten (Grund & al., 2005). Andererseits können, in besonderen Fällen, Waldbrände auch die Verbreitung von invasiven lichtliebenden Arten, wie den Götterbaum *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle und die *Robinia pseudoacacia* L. begünstigen (Maringer & al.).

Eine Zunahme von Waldbränden infolge des Klimawandels (vgl. Kapitel 4.5.11) würde mit Sicherheit eine Chance für die Biodiversität darstellen. Die Auswirkung von Waldbränden kann somit als positiv bewertet werden.

In Anbetracht der erwähnten Zusammenhänge bewertet die Arbeitsgruppe die Chancen in Zusammenhang der Änderungen der Wiederkehr von Waldbränden für den Auswirkungsbereich Biodiversität als **sehr wenig relevant** unter dem Szenario schwach und **mässig relevant** unter dem Szenario stark (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Kältewelle

Qualitative Auswirkungen

Die Minimaltemperaturen bestimmen die Grenze der Ausbreitung zahlreicher Arten. Eine Abnahme von Kältewellen erlaubt, wie auch die Zunahme der Mitteltemperatur, die Ausbreitung von Arten in neue Gebiete. Einige alpine Formationen, wie z.B. Windheiden oder Wiesen an windexponierten Kreten sind enorm widerstandsfähig gegenüber Frost und die Fähigkeit, Temperaturen von - 30°C bis - 40°C zu ertragen, verleiht den dort vorkommenden Arten einen Vorteil gegenüber der Konkurrenz (Delarze & Gonseth, 2015).

Das Ausbleiben solch tiefer Temperaturen könnte die Besiedlung durch kompetitivere Pflanzen begünstigen. Die Ausbreitung zahlreicher immergrüner Arten wird durch tiefe Temperaturen begrenzt und durch Kältewelten vollständig verhindert. Die Chinesische Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl) beispielsweise toleriert Frosttemperaturen von bis zu - 14°C (Walther, Distribution and limits of evergreen broadleaved (laurophyllous) species in Switzerland, 1999), während die Silber-Akazie (*Acacia dealbata* Link) bereits bei Temperaturen von weniger als - 7°C abstirbt (Marchante, 2006). Das Ausbleiben von längeren Frostperioden in den letzten Jahren hat die Ausbreitung dieser Arten in tiefgelegenen Wäldern im Tessin begünstigt (Walther, Distribution and limits of evergreen broadleaved (laurophyllous) species in Switzerland, 1999) (Schoenenberger & al., 2014). Diese Entwicklung wird mit Sicherheit zu einer weiteren Zunahme der Verbreitung sowie zur Ausbreitung neuer invasiver Arten führen. Da die Auswirkungen der Verbreitung allochthoner invasiver Arten auf die Biodiversität generell als negativ zu beurteilen ist (Kowarik, 2010), kann die Abnahme von Kältewellen als negativ bewertet werden.

In Anbetracht der erwähnten Zusammenhänge bewertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang mit der Abnahme von Kältewellen für den Auswirkungsbereich Biodiversität als **sehr wenig relevant** unter dem Szenario schwach und **mässig relevant** unter dem Szenario stark. Die Chancen werden unter beiden zukünftigen Szenarien als **nicht relevant** eingestuft (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Hitzewelle

Qualitative Auswirkungen

Aquatische Biotope

Die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser ist invers proportional zur Temperatur. Hitzewellen könnten zum Kollaps von kleinen stehenden Gewässern führen, insbesondere wenn deren Wasser eutroph ist. Die Zersetzung von organischem Material im Wasser (verbraucht Sauerstoff) und die gleichzeitig geringere Verfügbarkeit von Sauerstoff aufgrund der hohen Temperaturen führte z.B. im Muzzano-Seelein mehrfach zum Totalkollaps. Im Jahr 1994 waren nach einer Hitzewelle mehr als 16 t tote Fische zu verzeichnen (Pedroli & al, 1999). Das letzte grössere Fischsterben ereignete sich im August 2003, nach einer Hitzewelle (Pro Natura Ticino, 2007). Zumindest lokal können Hitzewellen zum Absterben von Fischen führen, insbesondere in eutrophierten und isolierten Gewässern, wodurch die regionale genetische Variabilität beeinträchtigt wird. Im Tessin sind viele Fischarten vom Aussterben bedroht, wie z.B. der Italienische Näsling (*Chondrostoma soetta* Bonaparte, 1840), der in Norditalien, in Slovenien (bereits ausgestorben), und im Tessin (Lago Maggiore und Kanäle von Bolle di Magadino) verbreitet ist resp. war (BAFU, 2007). Eine Zunahme der Hitzewellen und der Hitzetage insbes. im Frühjahr würden auch zu einer Zunahme menschlicher Aktivitäten in Berggebieten, entlang von Flüssen und Seen führen, wodurch potentiell Konflikte mit den dort vorkommenden Lebewesen (z.B. Brut- oder Zugvögel) entstehen. Der Einfluss der Hitzewellen auf die Biodiversität ist als leicht negativ zu bewerten.

In Anbetracht der erwähnten Zusammenhänge bewertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang mit Hitzewellen für den Auswirkungsbereich Biodiversität als **wenig relevant** unter dem Szenario schwach und **mässig relevant** unter dem Szenario stark (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher

Qualitative Auswirkungen

Für die in Berggebieten vorkommenden Arten kann die Schneedecke ein Nachteil darstellen. Huftiere z.B. verlieren viel Energie durch die Fortbewegung im Schnee oder in Wäldern kann es zu Schneebrüchen kommen. Eine Schneedecke kann aber auch ein Vorteil sein: z.B. zur Tarnung, thermischen Isolierung oder als Wasserspeicher. Schneedecken oder Gletscher bilden einzigartige ökologische Nischen und Lebensräume für zahlreiche Mikroorganismen (Algen, Bakterien) und einige Tiere höherer Trophieniveaus (z.B. Springschwänze oder Gletscherflöhe, Käfer und Zweiflügler). In den Lepontinischen Alpen des Kantons Graubünden wurde z.B. vor kurzem die Käferart *Leptusa kappenbergeri* beschrieben, ein kryophiles Insekt (auf sehr kalte Temperaturen spezialisiert), das vermutlich ein endemisches tertiäres Relikt ist (Focarile, 2008).

Psychrophile Mikroorganismen, Lebewesen die auf kalte Temperaturen zwischen -20°C und +10°C spezialisiert sind und auf Schnee oder Permafrost angewiesen sind, sind Gemeinschaften, welche eine relativ hohe Vielfalt aufweisen (Jansson & Taş, 2014). Kürzlich erschienene Studien zeigen, dass weltweit zahlreiche neue Arten und Taxa regelmässig in Schnee- und Eisproben entdeckt werden und einige dieser Mikroorganismen weisen bedeutende physiologische und für die Biotechnologie relevante Eigenschaften auf (Miteva, 2008). Diese stellen somit genetische Ressourcen dar, welche möglicherweise verloren gehen, bevor sie entdeckt werden. In der Schweiz zeigte der genetische Vergleich zwischen Schneealgengemeinschaften (der Arten *Chlamydomonas*, *Chloromonas*, *Trebouxia* und *Stichococcus*) der Region Davos (GR) und Airolo (TI), dass in jeder Region ortsspezifische Gemeinschaften leben, auch wenn sie relativ nahe beieinander liegen (Bischoff, 2007).

Gletscher und Schnee sind auch wichtige Wasserspeicher und sichern die Abflüsse in den Fliessgewässern der Berge. Deren vollständiges Abschmelzen wird einen Wassermangel und eine Austrocknung von hochgelegenen Feuchtgebieten bewirken. Dadurch wird zudem die in den Bergen vorkommende aquatische Fauna bedroht sein. Weltweit wird tatsächlich davon ausgegangen, dass rund 10 – 40 % der Fauna (meist endemisch) von hochgelegenen Bächen, die von Gletscherschmelzwasser gespeist werden, aussterben wird (Jacobsen, Milner, Brown, & Dangles, 2012). Davon beeinträchtigt wären auch Schneetälchen, in welchen eine hochspezialisierte und z.T. sehr seltene Flora wie z.B. *Thlaspi sylvium* Gaudin vertreten ist (Delarze & Gonseth, 2015), welche im Tessin im Verzascatal vorkommt (Info Flora, 2015). Andererseits wird das Abschmelzen der Gletscher neue unbesiedelte Flächen hervorbringen, und zwar sowohl terrestrische wie die Eisränder und Schwemmebenen mit nährstoffarmen, mineralischen Böden als auch aquatische (Seen), welche durch Pionierarten besiedelt werden können.

Die zukünftige Situation der im Schnee und Eis vorkommenden Arten ist schwierig abzuschätzen, dennoch wird eine markante negative Auswirkung infolge des Abschmelzens der Gletscher und des geringeren Vorkommens (zeitlich und räumlich) von Schnee im Winter erwartet, beides wichtige Faktoren für den Lebenszyklus der dort vorkommenden Organismen. Es ist somit davon auszugehen, dass die Auswirkungen sowohl auf die Arten- als auch auf die genetische Vielfalt insgesamt negativ sein werden.

In Anbetracht der erwähnten Zusammenhänge bewertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang der Reduktion der Schneedecke/des Abschmelzens der Gletscher für den Auswirkungsbereich Biodiversität als **sehr wenig relevant** unter dem Szenario schwach und **mässig relevant** unter dem Szenario stark. Die Chancen erweisen sich als **nicht relevant** unter dem Szenario schwach und **sehr wenig relevant** unter dem Szenario stark (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Veränderung Mitteltemperatur

Qualitative Auswirkungen

Terrestrische Biotope

Die weltweit am meisten untersuchten Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität der terrestrischen Ökosysteme sind mit Sicherheit die Änderungen der heutigen und zukünftigen Dynamik der alpinen Flora und Vegetation (Frei & al., 2013). Die bereits heute höher

liegenden Mitteltemperaturen haben messbare Auswirkungen auf die Vegetation oberhalb der Waldgrenze und zwar in allen Gebirgsmassiven Europas. Die kälteangepassten Arten werden ab- und jene, welche hohe Temperaturen bevorzugen zunehmen (sog. Thermophilisierung). Es ist somit mit einer sukzessiven Abnahme der kalten alpinen Lebensräume und deren biologischen Komponenten zu rechnen (Gottfried & al., 2012). Generell kommt es zu einer Verschiebung der Vegetationsstufen nach oben, einer drastischen Abnahme der Fläche der alpinen Lebensräume und derer gegenseitigen Isolation: Jene Arten, welche an besonders kalte Temperaturen angepasst sind, werden sich in die Berggipfel zurückziehen, wodurch sie nicht mehr untereinander verbunden sind. Die Folge davon ist ein hohes lokales Risiko des Aussterbens und eine Abnahme der genetischen Vielfalt (Theurillat & Guisan, 2001). Inwieweit diese Vorgänge tatsächlich ein Risiko für die Artenvielfalt in hohen Lagen darstellen, ist umstritten. Tatsächlich berücksichtigen zahlreiche Modelle die wichtigen mikroklimatischen und mikrotopografischen Änderungen in den Alpen und somit die Komplexität der kleinräumigen Lebensräume nicht. Genau solche Lebensräume könnten als Refugien den Arten evtl. ein Überleben ermöglichen (Engler & al., 2011). Wenn man berücksichtigt, dass die Änderungen in der Vegetation in Bezug auf den Klimawandel zeitlich verschoben eintreten, wird bis Ende Jahrhundert von einer mittleren Abnahme von 44 bis 50 % des Verbreitungsgebiets eines Grossteils der alpinen Pflanzenarten erwartet (Dullinger & al., 2012). Hauptsächlich gefährdet sind die endemischen Arten der Alpen insbes. der geringmächtigen Gipfel und wenig verbreitete arktisch-alpine Reliktarten (mit isolierten Verbreitungsgebieten in den Alpen und der Arktis) (Theurillat & Guisan, 2001). Auch im Tessin gibt es zahlreiche Pflanzenarten, die vom Aussterben bedroht sein könnten (Info Flora, 2015). Dazu zählen die *Androsace brevis* (Hegetschw.) Ces., eine in den Bergen vorkommende endemische Art (Orophyt) Insubriens (mit einem Verbreitungsgebiet, dessen Durchmesser weniger als 100 km beträgt), die *Potentilla grammopetala* Moretti, eine endemische Art der West- und Südalpen oder die *Saponaria lutea* L., endemisch in den Grajischen-- und Walliser- Alpen (im Tessin im Val Corno zu finden). Falls die Temperaturen rasch und um eine Grössenordnung von ca. 3°C ansteigen, sind die zu erwartenden Änderungen in Bezug auf die Vegetation tiefgreifend (Theurillat & Guisan, 2001). In diesem Fall sind auch Änderungen in den Interaktionen zwischen den Arten, mit völlig unvorhersehbaren Auswirkungen auf die Biodiversität, denkbar. Zum Beispiel könnte es zu Änderungen im Zusammenhang mit der Prädation (z.B. Räuber-Beute Beziehungen oder zwischen Insekten und Nährpflanzen) oder mit mutualistischen Beziehungen (z.B. zwischen Mykorrhiza und Pflanzen oder zwischen bestäubenden Insekten und Pflanzen) kommen. Diese Auswirkungen sind darauf zurückzuführen, dass sich die Änderungen unterschiedlich auf die einzelnen Partner auswirken (räumlich und zeitlich) und damit zu einer Beeinträchtigung oder Verhinderung solcher Beziehungen führen (Schweiger & al., 2012).

In tiefen Lagen der kollinen Stufe ist eine Zunahme der xerothermophilen Lebensgemeinschaften zu erwarten (vgl. Kapitel 4.5.2), mit den daraus sich ergebenden Vorteile für ihre natürliche Vertreter. Einen speziell grossen Nutzen können die terrestrischen Gliederfüsser (Arthropoda) daraus ziehen. Es wird z.B. davon ausgegangen, dass zahlreiche Insekten in der Lage sein werden, ihre Reproduktionszyklen zu erhöhen (Anzahl Generationen pro Jahr) (Duelli, 2007). Ausserdem wird auch eine Zunahme der Schmetterlinge oberhalb von 1'200 m ü. M. erwartet (Plattner & Altermatt, 2012). Andererseits werden infolge des Klimawandels die Lebensgemeinschaften mit geringer Vielfalt bevorteilt (McKinney & Lockwood, 1999). Wenige dominante und wenig spezialisierte Arten werden vielfältige und spezialisierte

Arten ersetzen, insbesondere die seltenen oder endemischen. Anders ausgedrückt kommt es zu einer biotischen Homogenisierung („biotic homogenization“) mit der daraus sich ergebenden Abnahme der räumlichen Vielfalt.

Die Auswirkung der Veränderung der Mitteltemperatur auf die spezialisierten alpinen Gemeinschaften wird generell als sehr negativ und leicht positiv auf die thermophilen Gemeinschaften tiefer Lagen beurteilt.

Aquatische Biotope

Die Wassertemperatur ist ein entscheidender Faktor in Zusammenhang mit der Verbreitung von Arten in aquatischen Ökosystemen. Die Erwärmung von Fliess- und stehenden Gewässern führt zudem zu einer Abnahme der Sauerstoffkonzentration im Wasser. Temperatur, gelöster Sauerstoff und Geschwindigkeit der Strömung bestimmen die Zonierung der fluvialen Lebensräume (vgl. Abbildung 166). Infolge der Erwärmung des Flusswassers und der damit einhergehenden Abnahme des gelösten Sauerstoffs, können diese Gleichgewichte gestört werden (vgl. Unterkapitel Hitzewelle, wo auf das Fischsterben eingegangen wird). Bereits heute bewirken Auswirkungen des Klimawandels die Migration der Forellen in rund 100 bis 200 m höher gelegene Gebiete der Alpen (Hari & al., 2006). Im Tessin z.B. ist die Äsche (*Thymallus thymallus* Linnaeus 1758) im unteren Bereich der Maggia, des Brennos und des Flusses Tessin verbreitet, während nur zwei mittlerweile stark verkleinerte Reproduktionsgebiete bestehen: Ein Teil der Maggia zwischen Bignasco und Cevio und das Gebiet der Leggiuna in Malvaglia (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2015). Infolge der Zunahme der Wassertemperaturen, mit gleichzeitig vorkommenden Trockenperioden, wird die natürliche Zonierung der Flüsse nicht mehr gewährleistet sein und negative Konsequenzen für diese Arten und generell die Lebensgemeinschaften in Flüssen sind wahrscheinlich.

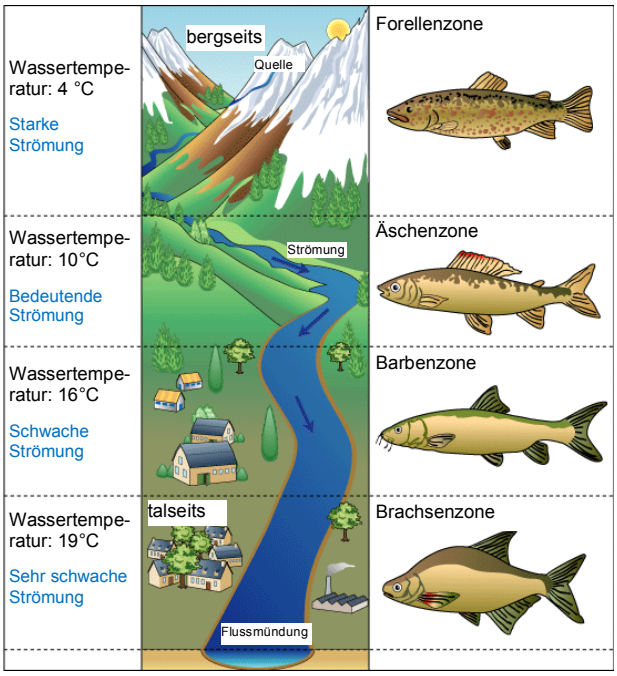


Abbildung 166: Zonierung der Lebensräume eines Flusses. Im Tessin finden sich die Forellenzone und die Äschenzone (Quelle: www.maxicours.com).

Die Erwärmung der Seen wird eine Abnahme der Durchmischung (Wasserzirkulation) der oberen und unteren Schichten des Wassers zur Folge haben, wodurch eine permanente Schichtung des Wassers in den grossen Seen bestehen wird (Kipfer & D.M., 2008). Daraus ergeben sich negative Folgen für die Sauerstoffzufuhr der tiefen Seeschichten, und für die langfristige Beseitigung von Phosphor (vorhanden in belasteten Seegründen). Die trophische Sanierung der Seen wird verlangsamt. Die Abnahme der Sauerstoffkonzentration in den Gewässern führt auch zu einem zunehmenden Risiko von Epidemien, wie z.B. die Proliferative Nierenkrankheit der Fische (BAFU, 2012b), welche bereits heute im Laveggio und Vedeggio vorkommen (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2015). Die Auswirkung der Zunahme der Temperaturen auf die Biodiversität der aquatischen Ökosysteme wird als negativ beurteilt.

Invasive gebietsfremde Arten

Gemeinsam mit den Änderungen der Raumnutzung, der Globalisierung des Güterverkehrs und des Transports von Personen begünstigt auch der Klimawandel die Einwanderung und Verbreitung allochthoner Arten (Kowarik, 2010). Ein typisches Beispiel ist die Ausbreitung von thermophilen Arten, welche in Parks und Gärten kultiviert wurden, in natürliche Lebensräume (Walther & al., 2002). In gestörten Flächen des Südtessins, ist ein Grossteil der allochthonen Arten äusserst thermophil, nicht jedoch die autochthonen Arten (Bellosi & al., 2011). Da die Thermophilie bei exotischen Pflanzen öfters als bei einheimischen Pflanzen vorkommt, ist anzunehmen, dass infolge einer Zunahme der Mitteltemperaturen allochthone Arten bevorteilt sind. Nur ca. ein Fünftel von nahezu 500 allochthone Pflanzenarten des Tessins werden als invasiv und schädlich für die Biodiversität, die Wirtschaft oder die Gesundheit eingestuft (Schoenenberger & al., 2014). Der grössere Teil weist hingegen eine neutrale Rolle auf, oder kann gar als Bereicherung der Biodiversität für das entsprechende Ökosystem bewertet werden (Williams, 1997). Infolge des Klimawandels kommt es mit Sicherheit zur Verbreitung neuer exotischer Arten (sowohl Pflanzen als auch Tiere), von denen einige invasiv und schädlich sein werden.

Abbildung 167: Laurophyllisierung im Tessin: Ausbreitung der Chinesischen Hanfpalme und anderen immergrünen Laubgehölzen in einem Europäischen Hopfenbuchen- und Manna-Eschenwald in Figino.

Die Zunahme der Mitteltemperatur bewirkt grosse Veränderungen im Waldbestand der planaren und kollinen Stufe. Es wird von einer Verschiebung der Biome von sommergrünen Laubwäldern zu immergrünen Laubwäldern oder laurophyllen Wäldern ausgegangen (Gianoni & al., 1988). Dieses Phänomen wird „Laurophyllisierung“ genannt (vgl. Abbildung 167). Ab den 1960-er Jahren kam es in Wäldern zur Ausbreitung von zahlreichen exotischen laurophyllen Pflanzenarten, welche zuvor nur als Kulturpflanzen in Gärten vorkamen (Walther, 1999). Die Tatsache, dass diese Pflanzen über ihren gesamten Lebenszyklus auch ausserhalb von Kulturen bestehen, ist in erster Linie auf die Abnahme der Frosttage von ca. 70 auf 20 pro Jahr seit den 1950-er Jahren zurückzuführen (Walther & al., 2002).

Zurzeit kommen im Tessin 44 laurophylle Gehölzarten wild wachsend vor (Schoenenberger & al., 2014). Dies ist eine beachtliche Anzahl. Es gibt jedoch keine Studien über die Auswirkung der Laurophyllisierung auf die Biodiversität der betroffenen Wälder, und es ist nicht sicher, ob die Auswirkungen insgesamt als positiv oder negativ zu bewerten sind. Aufgrund der grossen Vielfalt der immergrünen Arten, welche sich in Wäldern ausbreiten können, kann angenommen werden, dass, je nach Waldtyp, die Auswirkungen unterschiedlich ausfallen. Die Kastanienwälder (Nutzwälder und andere) weisen eine äusserst geringe Artenvielfalt auf und die Ausbreitung von laurophyllen Arten könnte zu einer Zunahme der Biodiversität führen. Hingegen könnten Wälder auf kalkhaltigen Böden, wie Eichen-, Manna-Eschen- und Hopfenbuchenwälder, die sehr artenreich sind (sowohl Holz- als auch Krautschicht), wahrscheinlich eine Abnahme der Artenvielfalt infolge zunehmender laurophyller Arten erleiden.

Paradoxerweise sind es diese Wälder, welche von Natur aus, resistenter gegenüber Trockenheit und Hitze reagieren (Delarze & Gonseth, 2015). Generell führen eine Zunahme der Mitteltemperaturen und die daraus folgende grössere Ausbreitung allochthoner Arten zu leicht negativen Auswirkungen auf die Biodiversität, obwohl sich auch einige Chancen daraus ergeben.

In Anbetracht der erwähnten Zusammenhänge bewertet die Arbeitsgruppe die Risiken in Zusammenhang der Veränderung der Mitteltemperatur für den Auswirkungsbereich Biodiversität als **relevant** unter dem Szenario schwach und **sehr relevant** unter dem Szenario stark. Die Chancen erweisen sich als **wenig relevant** unter beiden Szenarien (Bewertungsskala vgl. Kapitel 5.9.3).

Sturm/Orkan

Qualitative Auswirkungen

Die Ökosysteme der Wälder sind von Stürmen und Orkanen sehr stark betroffen, dies aufgrund von entwurzelten oder geknickten Bäumen (Windwurf). Da die Nutzung des Waldes zur Holzproduktion, eine der wichtigsten Funktionen, seit der Nachkriegszeit in vielen Gebieten des Tessins mehr oder weniger gleichzeitig abgenommen hat (Ceschi, 2014), kam es zeitgleich zu einem fortschreitenden Altern der Populationen. Dies bewirkt einerseits einen Mangel an Pionierpflanzen und offenen Gebieten (zumindest in tiefen Lagen), während andererseits ein Mangel an Totholz und an alten Bäumen („Habitatbäume“) fortbesteht. Diese Mängel bestehen, weil die Entwicklung zu reifen natürlichen Formationen, je nach Waldtyp, sehr lange bist deutlich über ein Jahrhundert dauern kann. Die Zunahme der natürlichen Dynamik dank Windwürfen infolge von Orkanen, würde die Biodiversität positiv beeinflussen,

sowohl jene der in offenen Gebieten vorkommenden Arten und Pionieren, als auch jene, die im Totholz vorkommen (saproxylophage Organismen). Als Beispiel kann ein Bockkäfer, der Alpenbock *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758), genannt werden, der im Tessin an sehr wenigen Standorten vorkommt und Totholz, insbesondere Buche in sonnenexponierten Lagen, braucht (Duelli, P.; Wermelinger, B., 2005).

Die erläuterten Klimaszenarien erlauben keine sicheren Prognosen bezüglich einer Zu- oder Abnahme der Häufigkeit von Stürmen oder Orkanen. Aus diesem Grund ist eine Auswertung der zukünftigen Auswirkungen auf die Biodiversität nicht möglich.

5.9.3. Qualitative Analyse

Synthese der Auswirkungen

Der Klimawandel führt unausweichlich zu Änderungen der Biodiversität. Dennoch ist es schwierig, die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Auswirkungen des Klimawandels (oft untereinander gekoppelte Auswirkungen) und der nicht genau bekannten Reaktion der Arten und der Biotope darauf, genau zu erfassen. Die Zunahme der Mitteltemperatur und die Abnahme der Niederschläge im Sommer werden die wichtigsten Faktoren sein, welche die Biodiversität des Tessins beeinflussen.

Der Klimawandel wird deutliche Auswirkungen auf die alpinen Biotope haben. Arten werden von tiefer gelegenen Gebieten in höhere migrieren und bereits an Kälte angepasste Arten werden nicht mehr in höhere Gebiete ausweichen können, da die Lebensräume in den Bergen zu klein werden oder gar vollständig verschwinden (z.B. Gletscher). In den Wäldern der kollinen Stufe wird der Klimawandel eine Änderung der Vegetation bewirken, von Laubwäldern hin zu exotischen, laurophyllen Arten. Auch in aquatischen Ökosystemen ist, aufgrund der allmählichen Erwärmung der Gewässer (in Kombination mit Trockenperioden und Hitzewellen), mit grossen Änderungen in den Lebensgemeinschaften zu rechnen. Die Gewässer werden nicht mehr in der Lage sein, genügend Sauerstoff zu lösen. So werden mit grosser Wahrscheinlichkeit Änderungen in lakustrischen Ökosystemen (Tendenz zur Schichtung und Eutrophierung) und auch in der biologischen Zonierung der Fliessgewässer eintreten. Generell werden die allochthonen thermophilen Arten stark zunehmen, da sie zudem von der Abnahme der Kältewellen profitieren.

Die Abnahme und die saisonale Umverteilung der Niederschläge beeinflussen in erster Linie die aquatischen Biotope, und zwar als erstes Moore und kleine stehende Gewässer, welche lokal verschwinden könnten. Aber auch das natürliche Abflussregime der Fliessgewässer, das äusserst wichtig für die dort vorkommenden Gemeinschaften ist, wird Änderungen unterworfen sein. Grundsätzlich ist eine Zunahme der xerischen Lebensräume, wie Trockenwälder und –wiesen, zu erwarten. Die zunehmende Häufigkeit und Dauer der Trockenperioden wird ein Faktor sein, der xerothermophilen Formationen zunehmend einen Vorteil verschafft.

Änderungen im Eintreten von natürlichen Störereignissen (Waldbrand, Rutschung, Überschwemmung, Orkane) hätten einen grossen Einfluss auf die Biodiversität des Tessins, welche zum jetzigen Zeitpunkt davon nicht betroffen ist, insbesondere auf die Pionierarten oder Arten, die von Walbränden profitieren (pyrophile Arten).

Risiken, Chancen und Schlussbilanz für den Auswirkungsbereich Biodiversität

Schon immer passten sich Arten, Gemeinschaften und Ökosysteme durch Evolution den Änderungen der Umweltbedingungen an. Veränderungen der Biodiversität sind meistens irreversibel. Falls die Änderungen jedoch schrittweise eintreten und die natürlichen Organismen sich anpassen können oder sich genügend rasch entwickeln, bleiben die Funktionen im System erhalten. Sie werden einfach von anderen Arten übernommen.

Die Risiken des Klimawandels für die Biodiversität und die Funktionalität der Ökosysteme hängen in erster Linie von der Geschwindigkeit des Wandels ab. Aufgrund der Geschwindigkeit und der Intensität der Änderungen (zu drastische Veränderungen schaden generell der

Biodiversität) kommt es unter dem Szenario stark zu deutlich mehr negativen Auswirkung als unter dem Szenario schwach. Das Funktionieren von gewissen Ökosystemen uns somit auch ihre Ökosystemleistungen wäre dadurch gefährdet. Bei einigen Ökosystemen lässt sich praktisch mit Sicherheit sagen, dass dieser Wandel zu rasch verläuft und somit die natürlichen Komponenten gravierend beeinträchtigt werden. Beispiele hierfür sind Moore, welche wahrscheinlich vollständig verschwinden werden, oder orophile endemische Arten, die im Tessin relativ zahlreich vorkommen, und die evtl. aussterben werden. Die Chancen für die xerothermophilen Arten sind schwierig einzuschätzen; Es bestehen grosse Unsicherheiten in Zusammenhang mit der Geschwindigkeit, mit der sie in der Lage sind, neue stabile Ökosysteme zu bilden und im Zusammenhang mit der Invasion von dominanten exotischen Arten.

Wichtigste Risiken

- Verlust von alpinen Arten und Biotopen, spezialisiert auf tiefe Temperaturen
- Verlust von Arten und Biotopen in Gewässern und Feuchtgebieten
- Zunahme der Verbreitung allochthoner Arten (invasiv und nicht invasiv) zulasten der einheimischen Arten mit daraus folgender Homogenisierung von Ökosystemen (häufige Arten werden immer häufiger, seltene Arten werden immer seltener).
- Abnahme der ökologischen Durchgängigkeit (Unterbruch von ökologischen Korridoren)
- Aussterben von lokalen Genotypen und endemischen Arten
- Zunahme des Aussterbens aquatischer und terrestrischer Organismen

Wichtigste Chancen

- Zunahme der natürlichen Dynamik (Waldbrand, evtl. Orkan)
- Entstehung neuer Pionier-Lebensräume in hohen Lagen
- Vorteile für xerothermophile Arten und Lebensräume

Auswertung der Auswirkungen

Die Auswertung der Auswirkungen weist grosse Unsicherheiten auf. Die Anpassungsfähigkeit von Arten und die Auswirkung auf die Ökosysteme sind schwierig zu prognostizieren. Langfristig sind gleichwohl wichtige Änderungen in der Zusammensetzung der Arten und Ökosysteme absehbar.

In Tabelle 87 und Abbildung 168 findet sich eine qualitative Auswertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Biodiversität. Die Risiken sind als Zunahme der Schäden oder Abnahme des Nutzens definiert, während die Chancen als eine Abnahme der Schäden oder eine Zunahme des Nutzens definiert sind. Risiken und Chancen wurden gemäss nachfolgender Skala qualitativ beurteilt.

0 – nicht relevant

1 – sehr wenig relevant

2 – wenig relevant

3 – mässig relevant

4 – relevant

5 – sehr relevant

Wie zuvor erwähnt, ist es für die Gefahr/den Effekt „Sturm/Orkan“ nicht möglich, die zukünftige Entwicklung abzuschätzen. Die Biodiversität würde von einer Zunahme der Intensität und/oder der Häufigkeit profitieren, während eine Abnahme eher negative Auswirkungen hätte.

Gefahr/Effekt:	Risiken		Chancen	
	Szenario schwach	Szenario stark	Szenario schwach	Szenario stark
Änderung im Niederschlagsregime	3	5	1	2
Allgemeine Trockenheit	0	3	0	1
Waldbrand	0	0	1	3
Kältewelle	1	3	0	0
Hitzewelle	2	3	0	0
Reduktion Schneedecke/Abschmelzen Gletscher	1	3	0	1
Veränderung Mitteltemperatur	4	5	2	2
Sturm/Orkan	-	-	-	-

Tabelle 87: ***Qualitative Auswertung der Auswirkungen für den Auswirkungsbereich Biodiversität. Die Auswirkungen sind unterteilt in Risiken und Chancen.***

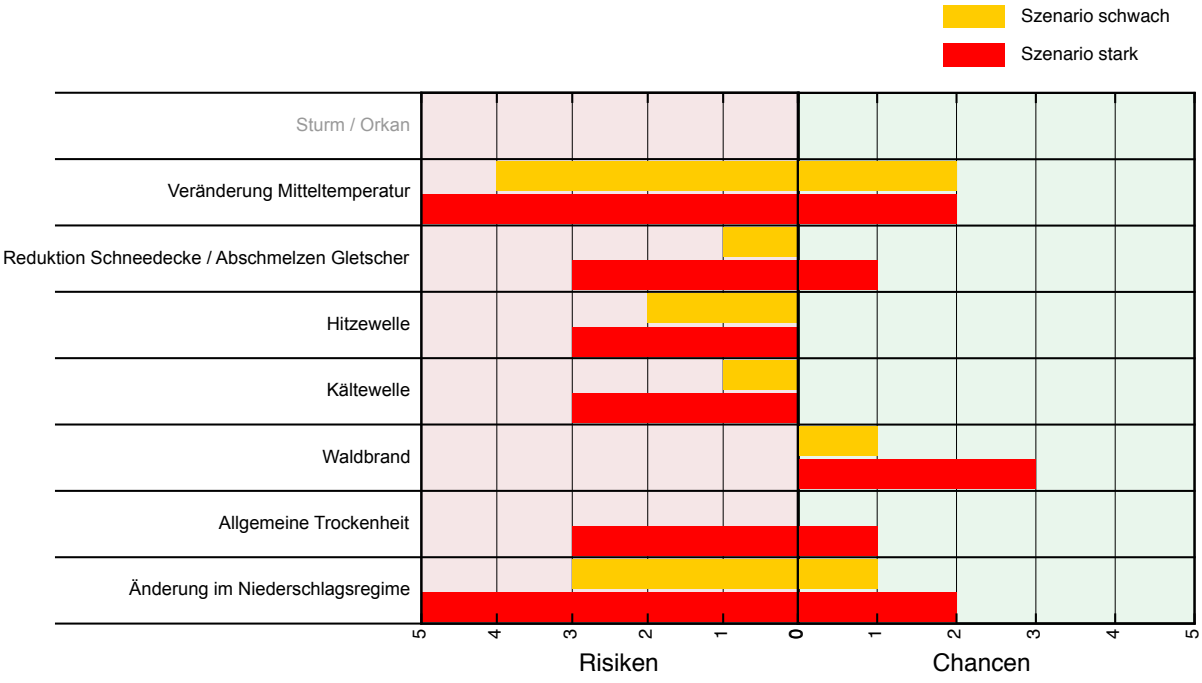


Abbildung 168: ***Auswertung der qualitativen Auswirkungen mittels Relevanzskala, nach Gefahr/Effekt des Klimawandels, unter dem Szenario stark (rot) und schwach (gelb). Auf der linken Seite der Grafik sind die Risiken, auf der rechten die Chancen dargestellt.***

Im Grossen und Ganzen (unter Berücksichtigung sowohl der Risiken als auch der Chancen) kann davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf den Aus-

wirkungsbereich Biodiversität tendentiell **negativ** ausfallen werden und zwar sowohl unter dem Szenario stark als auch unter dem Szenario schwach.

5.9.4. Sozioökonomisches Szenario 2060

Perspektiven des Auswirkungsbereich im Tessin

Wie in Kapitel 4.6 bereits erwähnt, werden das Bevölkerungswachstum und die Zunahme der bebauten Fläche in Tallagen des Tessins die Biodiversität zunehmend unter Druck stellen. Die negativen Auswirkungen auf diesen Auswirkungsbereich werden primär mit der Raumentwicklung, der Verschmutzung und mit anderen menschlichen Einflüssen gekoppelt sein.

In Bergregionen und in Tallagen (generell oberhalb von 500 m ü. M.) werden die sozioökonomischen Auswirkungen tendenziell positiv sein. Dies aufgrund einer Zunahme von Flächen, die vor allem durch Bauern einer natürlichen Entwicklung, ohne menschliche Einflüsse, überlassen werden (siehe Kapitel 4.6). Diese mögliche Zunahme der Biodiversität könnte zudem durch die Bildung neuer Naturschutzgebiete (wie z.B. der Nationalpark des Locarnese und der Park Adula) gefördert werden.

5.9.5. Zusammenfassung Auswirkungsbereich Biodiversität

Eine allumfassende Auswertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Auswirkungsbereich Biodiversität zeigt, dass bei beiden zukünftigen Szenarien die Risiken gegenüber den Chancen überwiegen (vgl. Tabelle 87). Unter dem Szenario stark sind sind die Risiken als sehr **negativ** zu bewerten (vgl. Abbildung 1); Die prognostizierten starken Änderungen könnten tatsächlich zu massiven und irreversiblen Verlusten der Biodiversität des Tessins führen. Aufgrund der Irreversibilität des Verlusts der Biodiversität hat die Arbeitsgruppe für dieses Szenario entschieden, dieses Risiko als am wichtigsten einzustufen. Unter dem Szenario schwach sind die Risiken geringer, da aufgrund der weniger stark ausfallenden Änderungen ein Teil der Arten wahrscheinlich in der Lage sein wird, sich anzupassen. Sie werden somit als **negativ** bewertet (vgl. Abbildung 1). Die Chancen werden sowohl unter dem Szenario schwach als auch stark als **positiv** eingestuft (vgl. Abbildung 1). Sie erscheinen unter beiden Szenarien als ziemlich wichtig, jedoch weniger als die Risiken unter dem Szenario stark. Insgesamt sind die Auswirkungen unter dem Szenario schwach **leicht negativ** und unter dem Szenario stark **negativ**.

Was das sozioökonomische Szenario betrifft, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Abnahme der Biodiversität in den Tallagen und die Zunahme der Biodiversität in Berggebieten und Tälern gegenseitig kompensieren. Die sozioökonomischen Auswirkungen werden somit im Ganzen gesehen als **gering** bewertet (vgl. Abbildung 1).

5.9.6. Glossar Biodiversität

Zur Vereinfachung der Lektüre dieses Kapitels wurde ein Glossar zusammengestellt, welches die wichtigsten Fachbegriffe dieses Auswirkungsbereichs aufführt.

Allochthon: Art, die in Gebiete gelangte, in denen sie zuvor nicht heimisch war (nicht autochthon, gebietsfremd)[25].

Autochthon: Einheimische Art, die in einer bestimmten biogeografischen Region beheimatet ist[25].

Endemit: Art, die nur in einem bestimmten Gebiet mit begrenzter Ausdehnung vorkommt[25].

Eutrophierung: Anreicherung von Nährstoffen in Gewässern mit geringem Austausch; Entsteht aufgrund der Auswaschung von Düngemittel, welche bei der Kultivierung des umliegenden Bodens eingesetzt werden oder infolge der organischen Verschmutzung menschlicher Aktivitäten oder durch Abfallprodukte von Industrien. Eutrophierung kann die sog. Phytoplanktonblüte bewirken, die die Umweltbedingungen für andere Arten (z.B. Fische) beeinträchtigt[26].

Heliophil: An Umgebungen mit besonders viel Licht angepasst [25].

Kryophil: An kalte Umgebungen angepasst [26].

Laurophyll: Immergrüne Laubgewächse.

Mesophil: Temperierte Breiten und weder zu feuchte noch zu trockene Umgebungen bevorzugend [26].

Orophil: An Gebirgsräume angepasst[26].

Pionierpflanze: Pflanzen, die in der Lage sind, vegetationsfreie mineralische Substrate zu besiedeln[25].

Saprophag: Sich von totem organischem Material ernährend [26].

Sklerophyll: Hartlaubig. Pflanzen, deren Blätter speziell hart sind. Es ist eine Anpassung an Trockenheit [25].

Taxon: Als systematische Kategorie erkannte Gruppe von Lebewesen. Taxa können einer beliebigen hierarchischen Stufe zugehören. Es wird zwischen Stamm, Klasse, Ordnung, Familie, Gattung und Art unterschieden[26].

Thermophil: Heisse Umgebungen bevorzugend [26].

Trophieniveau: Das Trophieniveau entspricht einer bestimmten Stufe der Nahrungskette, durch welche die Energie (Nahrung) durch ein bestimmtes Ökosystem „fliesst“, indem sie von einem Organismus zum anderen gelangt, von den Pflanzen bis zu grossen Karnivoren[27].

Xerophil: Trockene Umgebungen bevorzugend [25].

Zonale Vegetation: Vegetation einer bestimmten Zone mit bestimmten klimatischen Charakteristiken[26].

---

25 Quelle: http://vnr.unipg.it/habitat/glossario.jsp; Stand 31.08.2015.

26 Quelle: http://www.treccani.it; Stand 31.08.2015.

27 Quelle: http://www.istitutoveneto.org; Stand 31.08.2015.

6. LITERATURVERZEICHNIS

Abegg, B. (2012). Natürliche und technische Schneesicherheit in eriner wärmeren Zukunft. *Forum für Wissen - Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*, 29-35.

AET. (2015). Comunicazione privata. Monte Carasso.

Aha - Allergiezentrum Schweiz. (giugno 2015). From http://www.pollenundallergie.ch

Aha. (2007). *Pollenallergie.*

AIL. (2010). *Analisi dei consumi di acqua durante la siccità.* Muzzano.

AIL. (2014). Comunicazione privata. Muzzano.

AIL. (2015). *Confronto prezzi gas - olio combustibile.* Muzzano.

Alertswiss. (2015). *Vorsorge und Verhalten bei Katastrophen und Notlagen in der Schweiz* . From Gefahren Kennen - Balckout: https://alertswiss.ch/it/conoscenze-suggerimenti/conoscere-i-pericoli/#

Angelini, R., Finarelli, A. C., Angelini, P., Po, C., Petropulacos, K., Mancini, P., et al. (2007). Un'epidemia di febbre chikungunya nella provincia di Ravenna. *Eurosurveillance Weekly*, *12* (9).

ANU. (2015). *Klimawandel Graubünden - Analyse der Risiken und Chancen (Arbeitspapier 3).* BAFU.

Arcobaleno. (2012). *Trasporto pubblico arcobaleno - Rapporto pubblico 1997 - 2011.* L'aria cambia - Sezione della mobilità Ticino.

ARE. (2012). *Trends und Herausforderungen in der Raumentwicklung - Zahlen und Hintergründe zum Raumkonzept Schweiz.* Bern.

ASTRA. (2014). *Strassen und Verkehr 2014 - Zahlen und Fakten.* Bern: DATEC.

BAFU. (2014a). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014.* Ittigen.

BAFU. (2012). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012.* Ittigen.

BAFU. (2015a). *Anpassung an den Klimawandel: Bedeutung der Strategie des Bundesrates für die Kantone.* UW-1509-D, Bern.

BAFU. (2012a). Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt "Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro).

BAFU. (02. 18 2015b). Bundesrat konsultiert Kantone zur Umsetzung der Strategie Biodiversität Schweiz. *Medienmitteilung*. Bundesamt für Umwelt BAFU.

BAFU. (2015c). *Hydrologische Ereignisse*. Retrieved 2. febbraio 2015 from Hochwasser im Tessin vom November 2014: http://www.bafu.admin.ch/wasser/13390/13391/14791/index.html?lang=de

BAFU. (2014b). *Invasive Spezies in der Schweiz - Informationsbroschüre.*

BAFU. (2012b). *Kurzporträt Strategie Biodiversität Schweiz.* Bundesamt für Umwelt BAFU.

BAFU. (2005). *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Amphibien.* Bundesamt für Umwelt.

BAFU. (2007). *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Fische und Rundmäuler.* Bern.

BAFU. (2015d). *Thema Biodiversität*. Retrieved 01. 08 2015 from Bundesamt für Umwelt: http://www.bafu.admin.ch/biodiversitaet/index.html?lang=it

Barelli, E. (2015). Lista dei principali eventi naturali - Ticino. FFS.

Bellosi, B., & al. (2011). Exploring the flora of inert landfill sites in Southern Ticino (Switzerland). *Bauhinia*, *23*, 1-15.

Berger, S., & Walther, G.-R. (2006). Distribution of evergreen broad-leaved woody species in Insubria in relation to bedrock and precipitation. *Botanica Helvetica, 116*, 65–77.

Besomi, D. (2015). *Daniele Besomi's Website*. Retrieved 3. Febbraio 2015 from Il turismo in Ticino - Dati e commenti: http://www.danielebesomi.ch/turismo/

Bettelini, D. (2014). *Evoluzione della superficie forestale del Cantone Ticino.* Divisione dell'ambiente, Cantone Ticino.

BFE. (2007a). *Bauen, Wenn das Klima wärmer wird - Schlussbericht.*

BFE. (2007b). *Energieperspektiven 2035.*

BFS. (2015a). *Bau- und Wohnungswesen - Die wichtigsten Zahlen*. From Statistik Schweiz: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/01/key.html

BFS. (2015b). *Landesindex der Konsumentenpreise – Indikatoren Durchschnittspreise*. From http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/it/index/themen/05/02/blank/key/durchschnittspreise.html

BFS. (2014). *Landwirtschaftsbetriebe, Beschäftigte, Nutzfläche nach Kanton.*

BFS. (2015c). *Regionale Branchenkonten des Primärsektors, nach Kanton*. From https://www.pxweb.bfs.admin.ch/Selection.aspx?px_language=de&px_db=px-x-0704050000_102&px_tableid=px-x-0704050000_102%5Cpx-x-0704050000_102.px&px_type=PX

BFS. (2007). *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone 2005-2030.* Neuchâtel.

BFS. (2010). *Szenarien zur Bevölkerungsentwickung der Schweiz 2010-2060.* Neuchâtel.

Bischoff, Y. (2007). *Diversité et mobilité des algues de neige dans les Alpes suisses.* Edizioni Centro Biologia Alpina Piora.

Blanke, V., & Herzog, F. (2012). *Klimawandel, Nutzungswandel und Alpwirtschft. Schlussbericht des AlpFUTUR-Teilprojektes 4 «Klima», Teil 1.* Forschungsanstalt Agroscope, Reckenholz-Tänikon.

BLW. (2015). *Nationaler Aktionsplan zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der pflanzengenetischen Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft (NAP-PGREL)*. Retrieved 08 2015 from Bundersamt für Landwirtschaft: http://www.blw.admin.ch/themen/01623/01627/01694/index.html?lang=it

Bucur, G. M., & Dejeu, L. (2014). Influence of climate variability on growth, yielad and quality of grapes in the south part of Romania. *Horticulture*, *LVIII*.

Bundesamt für Landwirtschaft. (2010). *Land- und Ernährungswirtschaft 2025 - Diskussionspapier des Bundesamtes für Landwirtschaft zur strategischen Ausrichtung der Agrarpolitik.* Confederazione Svizzera.

Buzzi, M., Spinedi, F., & Kappenberger, G. *L'inverno 1950-1951 delle grandi valanghe...da un punto di vista meteoclimatico.* MeteoSchweiz.

Cancelli, V. (Dicembre 2013). Non tutta la neve vien dal cielo - Il prezzo (inevitabile) degli impianti di innevamento progammato. *Voce di Blenio*.

Canton Ticino. (2010). *Decreto esecutivo concernente l'adeguamento del canone d'acqua.*

Cassone, A. (2007). Epidemia di Chikungunya in Italia.

Cellina, F., Pampuri, L., & Sormani, M. (2012). *Quanto calore consumano gli edifici residenziali in Ticino?* SUPSI-DACD-ISAAC.

Cerutti, B., Tereanu, C., Domenighetti, G., Gaia, M., Bolgiani, I., Lazzaro, M., et al. (2004). *Canicola, mortalità e interventi di pronto soccorso durante l'estate 2003 in Ticino.* Salute pubblica n° 23.

Ceschi, I. (2014). *Il bosco del Cantone Ticino* (seconda edizione ed.). (D. d. Territorio, Ed.) Locarno: Armando Dadò editore.

Ceschi, I. (2006). *Il bosco del Cantone Ticino.* D. T. Ticino, Divisione dell'ambiente, Cantone Ticino.

Ceschi, I. (1993). La progressione dell'area forestale ticinese. *Il nostro paese*, *2014*, 37-43.

CH2011. (2011). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011.* Zurich: C2SM, MeteoSwiss, ETH, NECCR Climate and OcCC.

CH2014 - Impacts. (2014). *Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.* Bern: OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim.

Conedera, M., Barthold, F., Spinedi, F., Ferrario, F., & Pezzatti, G. B. (2011). Siccità estiva e castagno. Un'ulteriore minaccia degli estremi climatici? *Scherwood*, *178*, 16-21.

Conedera, M., Cesti, G., Pezzatti, G. B., Zumbrunnen, T., & Spinedi, F. (2006). Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. *V International Conference on Forest Fire Research*.

Conedera, M.; Pezzatti, G. B. (2005). *Gli incendi di bosco: cosa ci dice la statistica.* Bellinzona: WSL.

Consorzio BEL-LO. (2010). *Collegamento stradale Bellinzona – Locarno (A2-A13) - Studio di fattibilità.* Sezione della mobilità Ct. Ticino, Bellinzona.

Corti, G., Kappenberger, G., & Bauder, A. (2006). Appunti sui ghiacciai svizzeri e ticinesi.

Cotti, G., & al. (1990). *Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino. 1. Le componenti naturali.* (M. c. naturale, Ed.) Locarno: Armando Dadò Editore.

Cotti, G., & al. (1997). *Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino. 3. La protezione.* (M. c. naturale, Ed.) Locarno: Armando Dadò Editore.

Delarze, R., & Gonseth, Y. (2015). *Guide des milieux naturels de Suisse. Ecologie, menaces, espèces caractéristiques* (3ème ed.). Rossolis.

Dipartimento del territorio. (2014). *Messaggio numero 6990.*

Dipartimento Finanze e Economia Canton Ticino. (2014). *Messaggio numero 6907.*

Divisione della salute pubblica. (2013). *Le zecche e le principali malattie diffuse in Svizzera - Borreliosi di Lyme Meningoencefalite verno-estiva da zecca, come proteggersi?*

Domeniconi, R. (2015). *Infrastruttura di approvvigionamento e smaltimenti in Svizzera (fatti e cifre).* SSIGE / VSA.

DT/DFE. (2010). *Piano Energetico Cantonale.* Bellinzona.

Duelli, P. (2007). Manche mögens heiss Insekten auf dem Vormarsch. *Hotspot* (16), 12-13.

Duelli, P.; Wermelinger, B. (2005). La Rosalie des Alpes (Rosalia alpina) Un cérambycide rare et emblématique. *Notice pour le praticien WSL*, *39*, 8.

Dullinger, S., & al. (2012). Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first-century climate change. *Nature Climate Change*, *2*, 619–622.

EBP/SLF/WSL. (2013a). *Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz - Nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation.*

EBP/SLF/WSL. (2013b). *Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht.* BAFU.

EBP/WSL. (2013). *Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau.* BAFU.

Ecoplan. (2005). *Branchenszenarien Schweiz - Langfristszenarien zur Entwicklung der Wirtschaftsbranchen mit einem rekursiv-dynamischen Gleichgewichtsmodell (SWISSGEM).*

EKL. (2007). *Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL).* Bern.

Elcom. (2015). *La Sua tariffa elettrica a confronto*. From https://www.strompreis.elcom.admin.ch/Map/ShowSwissMap.aspx?lang=it

Elementarschädenfonds. (2015).. *Auszug für den Kanton Tessin und für den Sektor Landwirtschaft, 1995-2014.*

EnergieSchweiz. (2012). *Wasserspass für Körper, Geist und Klima.*

Engler, R., & al. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, *17*, 2330–2341.

ESI, & WSL. (2015). Studio sugli effetti dei cambiamenti climatici riguardo l'idrologia dei bacini idroelettrici Ticinesi.

Essl, F., & al. (2011). Socioeconomic legacy yields an invasion debt. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *108*, pp. 203–207.

Favati, V., Macchioni, F., & Mancianti, F. (2000). *Epidemiologia della Leishmaniosi in Toscana.* Università di Pisa.

Flury & Giuliani GmbH. (2014). *Analisi strutturale del settore agricolo ticinese.*

Focarile, A. (2008). Leptusa kappenbergeri, nuova specie delle Alpi Lepontine e considerazioni sui paleo-endemiti faunistici di alta quota sulle Alpi. (Studi sulle Leptusa Kraatz, 7). (Coleoptera Staphylinidae). *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, *96*, 29-36.

Frei, E., & al. (2013). Faster, Higher, More?. *Past, Present and Future Dynamics of Alpine and Arctic Flora under Climate Change. Abstracts of the international conference.* Bergün.

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

Galliciotti, F. (1954). *Il flagello bianco nel Ticino.*

geo7. (2015). *Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 1: Methodenbericht.*

Gianocca, C. (2005). *Il conto sanitario 2003 e il confronto con gli anni precedenti.*

Gianoni, G., & al. (1988). Thermophile, an laurophyllen Pflanzenarten reiche Waldgesellschaften im hyperinsubrischen Seenbereich des Tessins. *Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rubel*, *54*, 164-180.

Giugni, G. (1995). *Gola di Lago: piano di protezione e gestione delle zone umide..* EcoControl. Dipartimento del Territorio.

GLZ. (2015). *Sorveglianza e controllo della zanzara tigre, Ades albopictus (Stegomyia albopicta), in Ticino - Rapporto di attività 2014.* Divisione della salute pubblica, Dipartimento della sanità e della socialità.

Gottfried, M., & al. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, 1-5.

Grund, K., & al. (2005). The role of fire in the invasion process of evergreen broad-leaved species. *Basic and Applied Ecology*, *6*, 47—56.

Gumbel, E. J. (1935). Les valeurs extrêmes des distributions statistiques. *Annales de l'I.H.P.*, *5* (2), 115-158.

Höpflinger, F., Bayer-Oglesby, L., & Zumbrunn, A. (2011). *Pflegebedürftigkeit und Langzeitpflege im Alter - Aktualisierte Szenarien für die Schweiz.* Bern.

Hänggi, P. u. (2011). *Variations in Discharge Volumes for Hydropower Generation in Switzerland.*

Hari, R., & al. (2006). Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology*, *12*, 10-26.

Huglin, P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Proceedings of the Symposium International sur l'ecologie de la vigne* (pp. 89-98). Cotança: Ministère de l'agriculture et de l'Industrie Alimentaire.

IEA. (2011). *World energy outlook 2011.*

Info Flora. (2015). *Nationale Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora*. Retrieved 08 2015 from https://www.infoflora.ch/it/

INFRAS/Egli Engeneering. (2015). *Klimabedingte Risiken und Chancen 2060 - Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt.* BAFU.

INFRAS/Egli Engeneering. (2014). *Klimabedingte Risiken und Chancen 2060, Regionale Fallstudie Kanton Uri.* BAFU.

INFRAS/Egli Engineering/Sofies/INDDIGO. (2015). *Analyse des Risques et Opportunités liés aux changements climatiques en Suisse - Etude de cas Canton Genève et Grand-Genève.* BAFU.

IPCC. (2013). *Climate Change - The Physical Science Basis.* Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Jacobsen, D., Milner, A., Brown, L., & Dangles, O. (2012). Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change*, *2*, 361–364.

Jansson, J., & Taş, N. (2014). *Nature Reviews Microbiology*, *12*, 414–425.

Käsermann, C. (1999). *Littorella uniflora (L.) ASCH. Merkblätter Artenschutz – Blütenpflanzen und Farne.* BUWAL/SKEW/ZDSF/PRONATURA.

Keller, F., & Fuhrer, J. (2004). Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. *Agrarforschung*, *11*, 403-410.

Kipfer, R., & D.M., L. (2008). Wasserressourcen und Klimawandel. *Eawag News, 65d*, 8-11.

Klaus, G., & al. (2007). *Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz.* Ufficio federale dell'ambiente. UFAM.

Kowarik, I. (2010). *Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa.* Stuttgart: Ulmer.

Linsbauer, A., Paul, F., Machguth, H., & Haeberli, W. (2013). Comparing three different methods to model scenarios of future glacier change in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*.

Losa, F. (1999). *Valutazione degli interventi pubblici in ambiti conflittuali. Applicazione di un metodo multicriteri di aiuto alla decisione al problema della regolazione del Lago Maggiore.* Editrice Sapiens, Lugano.

Marchante, H. (2006). *Acacia dealbata Factsheet.* DAISIE.

Maringer, J., & al. Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region. *Flora*, *207* (2012), 19-29.

McKinney, M. L., & Lockwood, J. L. (1999). Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. Trends in Ecology and Evolution. *14* (11), 450-453.

MeteoSchweiz. (2014a). *Klimaindikatoren auf Baisi gegitterter Klimadaten der MeteoSchweiz und Klimaszenarien der CH2011 Initiative.* EDI.

MeteoSchweiz. (2014b). *Klimaszenarien Schweiz - eine regionale Übersicht, Fachbericht MeteoSchweiz.*

MeteoSchweiz. (2012a). *Rapporto sul clima - Cantone Ticino, rapporto di lavoro.*

MeteoSchweiz. (2012b). Rapporto sul clima – Cantone Ticino 2012.

Meyer, K., Simmet, A., Mattle, H. P., & Arnold, M. (2008). Herz-Kreislauf-Krankheiten (Koronare Herzerkrankung un Hirnschalg). *Meyer, K. (Hrsg.): Gesundheit in der Schweiz. Nationaler Gesundheitsbericht 2008*.

Micotti, M., & Weber, E. (2013). *Rapporto D6: Sintesi del ProgettoVerbaCe.* Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione.

Miteva, V. (2008). Bacteria in snow and glacier ice. In R. Margesin, & al., *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnolgy* (p. 462). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Moretti, M., & Conedera, M. (2005). Ecologia degli incendi nella Svizzera sudalpina: effetti su suolo, vegetazione e fauna. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, *156* (9), 338–344.

Moretti, M., & Conedera, M. (2003). Waldbrände im Kreuzfeuer. *Gaia*, *12* (4), 275-279.

Moser, D., & al. *Lista Rossa delle felci e piante a fiori minacciate della Svizzera.* Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del pae- saggio (UFAFP, Berna).

Museo Cantonale di Storia Naturale. (1990). *Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino.* 3 Volumi, Dipartimento dell'Ambiente, Cantone Ticino.

Neteler, M., Metz, M., Rocchini, D., Rizzoli, A., Flacio, E., Engeler, L., et al. (2013). Is Switzerland Suitable for the Invasion od Aedes albopictus? *Plos One*, *8* (12).

Niedermair, M., & al. (2011). *Moore im Klimawandel.* WWF Österreich, der Österreichischen Bundesforste und des Umweltbundesamtes, Wien.

OASI. (2015a). Aria, Immissioni. *SPAAS Canton Ticino*.

OASI. (2015b). Meteo, Temperatura e precipitazioni. *Ticino, SPAAS Canton Ticino*.

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

OST - TI. (2015). *Mobilità - Indicatori 2015, Tasso di motorizzazione.* Bellinzona.

OST. (2015). *Gli spazi liberi del fondovalle del Cantone Ticino - Tipologia e cifre essenziali.* Osservatorio dello sviluppo territoriale. Cantone Ticino. Sezione dello sviluppo territoriale.

OST-TI. (2008). *Lo sviluppo territoriale nel Cantone Ticino - Insediamenti Rapporto 2007.* Bellinzona - Mendrisio.

O-Tur. (2016). *Osservatorio del turismo*. From Domanda di turismo (settore alberghiero) in Ticino: http://www.otur.usi.ch/it/statistiche-domanda

Pedroli, J., & al. (1999). *Lago di Muzzano. Analyse des causes de mortalité de poissons.* Aquarius SA, Neuchâtel.

Perroud, M., & Bader, S. (2013). *Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen.* Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Bern, Zürich.

Pflanzenkrankheiten. (2015). *Krankheiten und Schädlinge an Kartoffeln (Solanum tuberosum L.)*. From Pflanzenkrankheiten - Kartoffeln: http://www.pflanzenkrankheiten.ch/de/krankheiten-an-kulturpflanzen/kartoffeln

Plattner, M., & Altermatt, F. (2012). Klimaerwärmung verändert die Vielfalt. Spezialauswertung Talfalter. *BDM-Facts*, *1*, 1-3.

Polier. (maggio 2015). *Mapo's Seiten*. From Alluvione 08.1978 Palagnedra: http://www.polier.ch/page/archiv/vari/a-g/Bonzani/Palagnedra.htm

Polizia cantonale ticinese. (2013). *Statistica incidenti della circolazione stradale - Rapporto annuale 2012.*

Pro Natura Ticino. (2007). Riserve Naturali - Quello strano colore. *Bollettino trimestrale della Sezione Ticino di Pro Natura.*, *11*, 3-5.

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*, *118*, 3610-3626.

Regione Lombardia e Cantone Ticino. (2013). *Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero.*

Repubblica e Cantone Ticino. (2014). *Messaggio 6967 - Revisione parziale della Legge sull'agricoltura del 3 dicembre 2002.* Finanze e economia.

Repubblica e Cantone Ticino. (2015). *Rendiconto del Consiglio di Stato 2014 - Allegato stratistico.* Dipartimento del territorio.

Repubblica e Cantone Ticino. (2013). *Scheda i Piano direttore: Territorio agricolo.*

Robert Nicoud, E. (2015). *Valutazione finanziaria "Protezione del bosco" periodo 2009-2015.*

Rossini, C. (2015). Produzione Ticino - Gestioni centrali AET. Monte Carasso.

Rütter Soceco/tiresia/ Line@soft. (2014). *L'impatto economico del turismo in Ticino.* DFE Canton Ticino.

Salvetti, A. (2014). *Il progetto Strada.* Ufficio dei corsi d'acqua, Canton Ticino.

SBS. (2014). *Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche Ausgabe 2014.* Bern.

Scapozza, C., & Mari, S. (2010). Catasto, cartteristiche e dinamica dei rock glaciers delle Alpi Ticinesi. *Bollettino della Società ticinese di Scienze Naturali*, 15-29.

Schoenenberger, N., & al. (2014). La flora esotica del Cantone Ticino (Svizzera). *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, *102*, 13-30.

Schultz, J. (2000). *Handbuch der Ökozonen.* Stuttgart: Ulmer.

Schweiger, O., & al. (2012). Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics. *Global Ecology and Biogeography*, *21* (1), 88-99.

Schweizer Hagel. (2015). *Auszug für den Kanton Tessin und für den Sektor Landwirtschaft, 2000-2014..*

Schweizerische Eidgenossenschaft. (2015). *Geokatalog*. Retrieved 08 2015 from https://map.geo.admin.ch.

Schweizerische Eidgenossenschaft. (21. 01 1991). OVerordnung über den Schutz der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung.

Schweizerische Eidgenossenschaft. (2012). *Strategie Biodiversität Schweiz.* Ufficio federale dell'ambiente UFAM.

Schweizerische Eidgenossenschaft. (07. 09 1994). Verordnung über den Schutz der Flachmoore von nationaler Bedeutung.

Schweizerische Eidgenossenschaft. (13. 01 2010). Verordnung über den Schutz der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung.

SciLogs. (2013). *Extremwetter durch planetare Wellen?* Retrieved Settembre 2015 from SciLogs WissensLogs: http://www.scilogs.de/wblogs/blog/klimalounge/mechanismen/2013-06-06/extremwetter-durch-planetare-wellen

SECO. (2007). *Lavorare negli uffici in periodi di caldo.*

Sezione dell'agricoltura. (2013). *Pagamenti diretti 2003-2013.* Dipartimento delle finanze e dell'economia.

Sezione dell'agricoltura. (2015). *Rapporti sulla vendemmia 1993-2014.* Dipartimento delle finanze e dell'economia.

Sezione dello sviluppo territoriale. (2006). *Piano direttore cantonale – Studio di base: L'organizzazione territoriale in Ticino - Valutazione e indirizzi per l'elaborazione del Modello di organizzazione territoriale.* Divisione dello sviluppo territoriale e della mobilità, Dipartimento del territorio.

Sezione forestale cantonale. (2015). *Dati StorMe.* Dipartimento del territorio, Bellinzona.

Sezione Forestale Cantonale. (2015). *Decessi per pericoli naturali Canton Ticino dal 1800 al 2014.* Bellinzona.

Sezione forestale Cantonale. (2007). *Piano Forestale Cantonale.* Divisione dell'ambiente, Canton Ticino.

Sezione forestale cantonale. (2014). *Resoconto annuale.* Divisione dell'ambiente, Canton Ticino.

SIA. (2009). *SIA 380/1.*

Sommer, H., Amacher, M., & Buffat, M. (2011). *Basi economiche dei sentieri escursionistici svizzeri (riassunto).* Ufficio federale delle strade e Sentieri Svizzeri, Berna.

SPAAS. (2015). *Acqua: protezione e approvigionamento*. Retrieved 4. Febbraio 2015 from www4.ti.ch/dt/da/spaas/upaai/temi/acqua-protezione-e-approvvigionamento/

SPAAS. (2003). *L'ambiente in Ticino.* D. T. Ticino, Bellinzona.

SPAAS/UNSTAT. (2013). *STAR Statistica Ticinese dell'Ambiente e delle Risorse naturali.* Bellinzona.

Steinemann, U., & Brunnen, C. U. (2007). Gebäudekühlung in der Zukunft. *Heft 22: Kühlen* (133).

SUPSI. (2014). *Bilancio energetico cantonale anno 2013.* Trevano.

SVGW. (2014). *Statistische Erhebungen der Wasserversorgung in der Schweiz - Betriebjahr 2013.*

Swisstopo. (2015). *Map geo admin*. Retrieved 3. Febbraio 2015 from https://map.geo.admin.ch

SZG/CCM/CSO. (2015). *Statistischer Jahresbericht Gemüse 2014.*

Theurillat, J., & Guisan, A. (2001). Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* (50), 77-109.

Thommen Dombois, O., & Braun-Fahrländer, C. (2004). *Gesundheitlische Auswirkung der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz.* Uni Basel, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Basel.

Trinkwasser SVGW. (maggio 2015). *Trinkwasser*. From http://www.trinkwasser.ch/default.asp

UCT. (2013). *Produzione lorda dell'agricoltura, secondo il tipo di prodotto, in Ticino, dal 1999.* Segretariato agricolo, Sant'Antonino.

Ufficio della consulenza agricola. (2012). *Vendita di ortaggi di produzione ticinese, dal 2001.* Dipartimento delle finanze e dell'economia.

UFSP/UFAFP. (2005). *Come proteggersi dalle ondate di caldo - Cambiamento climatico: conseguenze sulla salute.* Bern.

UST. (2015). *Evolution future de la population – Données, indicateurs - Scénarios suisses*. Retrieved 08 2015 from Ufficio federale di statistica - UST: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key/ent_erw.html

UST. (2011). *Tessin*. Retrieved 08 2015 from Ufficio federale di statistica. Scenari dell'evoluzione della popolazione dei Cantoni dal 2010 al 2035: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/03/blank/key_kant/03/21.html

UStat. (2014a). *Addetti e addetti equivalenti al tempo pieno (ETP), secondo la divisione economica, in Svizzera e in Ticino, nel 2012.*

UStat. (2012). *Annuario statistico 2012.* Panorama 08 Energia.

UStat. (2014b). *Annuario Statistico 2014.* DFE, Canton Ticino.

UStat. (2000). *Comuni, nel 2000, e popolazione residente, dal 1920, secondo l'altitudine dei comuni in metri sopra il livello del mare., in Ticino.*

Valbianca SA. (2012). *Riorganizazione finanziaria e modello d'esercizio.* Airolo.

Veronesi, M. (2015). *Statistica danni ad acquedotti.* Ufficio della protezione delle acque e dell'approvigionamento idrico, Canton Ticino.

Verzasca SA. (2013). *Cinquantaquattresimo rendiconto e bilancio annuale.*

Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J., & Weingartner, R. (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software*, *24*.

Wüthrich, M. (2015). Schäden Naturgefahren Kanton Tessin und Grossschadenereignisse seit 1977- Fahrhabe und Gebäude. SVV.

Walther, G. R. (1999). Distribution and limits of evergreen broadleaved (laurophyllous) species in Switzerland. *Botanica Helvetica*, *109*, 153-167.

Walther, G. R., & al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, *416*, 389-395.

Williams, C. (1997). Potential valuable ecological functions of non-indigenous plants. In J. Luken, & T. J.W., *Assessment and Management of Plant Invasions* (pp. 26-34). New York: Springer.

WSL. (2015a). *Comunicazione privata.*

WSL. (2015b). *Unwetterschadens-Datenbank, Auszug für den Kanton Tessin und für den Sektor Landwirtschaft, 1972-2014.*

WWF Deutschland. (2007). *Kosten des Klimawandels - Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit.* Frankfurt.

Zegg, R., Küng, T., Bachmann, R., & Hubert, L. (2008). *Impianti di risalita in Ticino - Rapporto finale del 9 luglio 2008.* grischconsulta, Coira.

Zubler, E., Fischer, A., Liniger, M., Croci-Maspoli, M., Scherrer, S., & Appenzeller, C. (2014). Localized climate change scenarios of mean temperature and precipitation over Switzerland. *Climatic Change*, *125*, 237-252.

Zulliger, J. (Gennaio-Febbraio 2003). Al riparo da innondazioni. *Panorama Reiffeisen*.

ANHÄNGE

A1- Handlungsfelder und Massnahmen der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel des Bundes

A2- Präsentation IDSIA – Hangmure / Murgänge

A3- Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit

A4- Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft

A5- Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude

A6- Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

A7- Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Gesundheit

A8- Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Landwirtschaft

A9- Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

A10- Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

ANHANG A1

Handlungsfelder und Massnahmen der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel des Bundes

A1: HANDLUNGSFELDER UND MASSNAHMEN DER STRATEGIE ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL DES BUNDES

HANDLUNGSFELDER

WASSERWIRTSCHAFT	
W1	Trinkwasser.
W2	Speicherseen.
W3	Kühlung thermischer Kraftwerke.
W4	Bewässerung.
W5	Restwasser.
W6	Kanalisation und Strassenentwässerung.
W7	Seeregulierung.
W8	Internationale Ansprüche.
W9	Grundwassernutzung.
W10	Auswaschung von Stoffen.
W11	Bodenerosion.
W12	Laufkraftwerke.
W13	Freizeitfischerei.
W14	Schifffahrt (Rhein).
Umgang mit Naturgefahren	
N1	Hochwasser (Alpenraum).
N2	Hochwasser (Mittelland und Jura).
N3	Wildbachprozesse (Alpenraum).
N4	Sturzprozesse (Alpenraum).
N5	Schutzwald.
Landwirtschaft	
L1	Standorteignung.
L2	Starkniederschläge.
L3	Trockenheit.
L4	Hitzestress.
L5	Schadorganismen.
L6	Preisvolatilität.
Waldwirtschaft	
F1	Kritische Schutzwälder.
F2	Baumbestände mit hohen Nadelholzanteilen in tieferen Lagen.
F3	Klimasensitive Waldstandorte.
F4	Übrige Waldstandorte.
Energie	
E1	Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden.
E2	Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft.

E3	Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken:.
E4	Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen.
Tourismus	
T1	Angebotsentwicklung.
T2	Gefahrenminimierung.
T3	Kommunikation.
Biodiversitätsmanagement	
B1	Genpool.
B2	Lebensräume und Arten.
B3	Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten.
B4	Biotopverbund / Vernetzung.
B5	Ökosystemleistungen.
Gesundheit	
G1	Über Vektoren übertragene Infektionskrankheiten (Mensch und Tier).
G2	Auswirkungen von Hitze (Mensch und Tier).
G3	Über Lebensmittel und Wasser übertragene Infektionskrankheiten (Mensch).
Raumentwicklung	
R1	Lebensqualität in Städten und Agglomerationen.
R2	Tourismus.
R3	Naturgefahren.
R4	Energie / Wasser.

MASSNAHMEN

Wasserwirtschaft	
w1	Planungsinstrumente für eine Wasserressourcen Bewirtschaftung.
w2	Rahmenbedingungen Gewässerbewirtschaftung im Einzugsgebiet – Förderung durch Kommunikation, Wissensaustausch und Ausbildung.
w3	Vernetzung / Regionalisierung der Wasserversorgung.
w4	Potenzial von Wasserrückhalt und Speichern.
w5	Seeregulierung.
w6	Schweizer See- und Speichermanagement im internationalen Kontext.
w7	Bemessungsgrundlagen und Anforderungen GSchG infolge veränderter Abfluss- und Temperaturregimes.
w8	Wärmeeinleitung in Gewässer.
w9	Wasserqualität – Verhinderung einer zusätzlichen Beeinträchtigung der Gewässer durch Starkniederschläge oder die Bewässerung von Kulturen.
w10	Früherkennung von Trockenheit – Modellierung Wasserhaushaltskomponenten.
w11	Korrektur Schiffahrsrinne Basel – Birsfelden.
Umgang mit Naturgefahren	
n1	Monitoring der Gefahrenprozesse.
n2	Gefahren und Risiken kennen.

n3	Schutzmassnahmen robust und anpassbar auslegen.
n4	Raumplanerische Massnahmen umsetzen.
n5	Naturereignisse erfolgreich bewältigen.
n6	Naturgefahrenbewusstsein, Ausbildung und Forschung im Bereich Naturgefahren stärken.
n7	Analyse der bedeutenden Ereignisse und deren Bewältigung.
Landwirtschaft	
l1	Optimierter Einsatz von angepassten Sorten und Rassen inkl. Umgang mit Schadorganismen.
l2	Schonende Nutzung von Boden und Wasser.
l3	Erarbeitung von Grundlagen für die standortangepasste Bewirtschaftung.
l4	Ausbau von Monitoring und Frühwarnung.
l5	Möglichkeiten zur Unterstützung des privaten Risikomanagements prüfen.
l6	Forschungs- und Beratungsoffensive Klimawandel – Landwirtschaft.
Waldwirtschaft	
f1	Vorzeitige Verjüngung kritischer Schutzwälder mit ungenügender Verjüngung und verminderter Bestandesstabilität.
f2	Erhöhung von Resilienz und Anpassungsfähigkeit auf klimasensitiven Waldstandorten.
f3	Erhöhung von Resilienz und Anpassungsfähigkeit auf Verjüngungsflächen.
f4	Waldrelevante Grundlagen.
Energie	
e1	Grundlagenstudie zur Reduzierung des Kühlenergiebedarfs durch bauliche Massnahmen.
e2	Information und Sensibilisierung der betroffenen Stakeholder und Multiplikatoren im Gebäudebereich.
e3	Mindestanforderungen für Klimageräte und Ventilatoren.
e4	Studien zu Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung inkl. Sensibilisierung der Betroffenen
e5	Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels in der Talsperrenaufsicht.
e6	Prüfung der Vorschriften zur Rückleitung von Kühlwasser.
e7	Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels bei der Genehmigung und Aufsicht von Übertragungs- und Verteilnetzen.
e8	Aufzeigen der Wirkungszusammenhänge der Klimaauswirkungen und Anpassungsmassnahmen in den verschiedenen Bereichen.
Tourismus	
t1	Förderung der Angebotsentwicklung und der Diversifikation im Schweizer Tourismus mittels tourismusfreundlicher Rahmenbedingungen und mittels gezielter Tourismusförderung.
t2	Unterstützung des Wissensaufbaus und der Wissensdiffusion zu Fragen der Anpassung des Tourismus an den Klimawandel; Aufbau einer Wissensplattform.
Biodiversitätsmanagement	
b1	Risikoabschätzung und Managementprüfung für besonders betroffene (Teil-) Populationen, Arten und Lebensräume.
b2	Standards für Grün- und Freiflächengestaltung im Siedlungsraum.

b3	Sicherstellung ökologischer Mindestanforderungen und Aufwertungsmassnahmen für auf ausreichende Wasserversorgung besonders angewiesene Lebensräume.
b4	Schutz und Regeneration von Torf- und organischen Böden.
b5	Sicherstellung grossflächiger Lebensraumqualität in höheren Lagen.
b6	Klimaszenarien bei der Früherkennung invasiver gebietsfremder Arten und Massnahmenbedarf.
b7	Biodiversität schonende Bekämpfung von Schadorganismen.
Gesundheit Mensch	
gm1	Informationen und Empfehlungen zum Schutz bei Hitzewellen.
gm2	Überwachung, Früherkennung und Prävention von vektorübertragenen Infektionskrankheiten beim Menschen.
gm3	Monitoring von potenziell krankheitsübertragenden, gebietsfremden Stechmückenarten_.
Gesundheit Tier	
gt1	Früherkennung von Gesundheitsstörungen beim Tier (inkl. Zoonosen).
Raumentwicklung	
r1	Grundlagen erarbeiten und zur Verfügung stellen.
r2	Rechtlicher Rahmen ergänzen.
r3	Förderung von innovativen Projekten und Weiterentwicklung von Politiken.
r4	Informieren und Sensibilisieren der Planer.
r5	Bestehende Arbeitsinstrumente ergänzen.
Wissensgrundlagen für die Anpassungsstrategie	
wg1	Regelmässige Erstellung von regionalen Klimaszenarien für die Schweiz.
wg2	Hydrologische Grundlagen und Szenarien für die Anpassung an den Klimawandel.
wg3	Konzept für die Erhebung von Bodeninformationen.
wg4	Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen in der Schweiz.
wg5	Screening von Monitoringsystemen und Wissenslücken in der Anpassung.
Koordination und Umsetzung der Anpassungsstrategie in Zusammenarbeit mit den Kantonen, Städten und Gemeinden	
k1	Sektorenübergreifende, vertikale Koordination der Anpassungsmassnahmen.
k2	Bericht zur Bedeutung der Anpassungsstrategie für die Kantone.
k3	Informationsplattform Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz.
k4	Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel.

ANHANG A2

Präsentation IDSIA – Hangmure / Murgänge

A2 - Präsentation IDSIA - Hangmure/Murgänge

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
SUPSI
Università della Svizzera italiana

30/07/2015

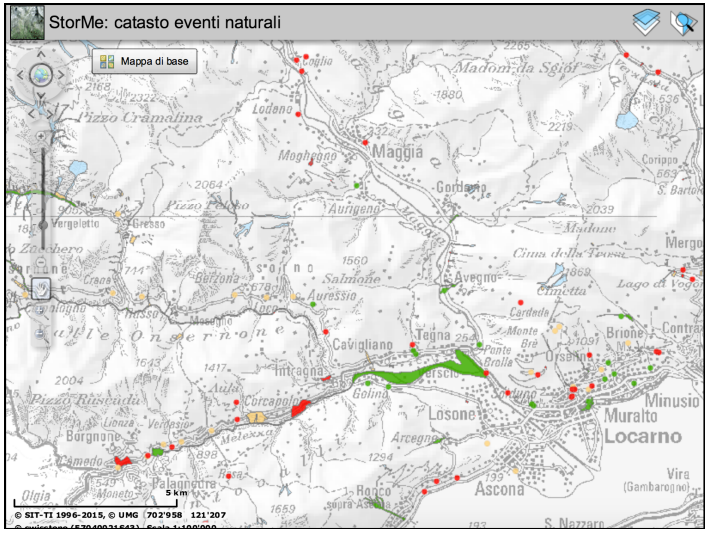
Istituto Dalle Molle di studi sull'intelligenza artificiale

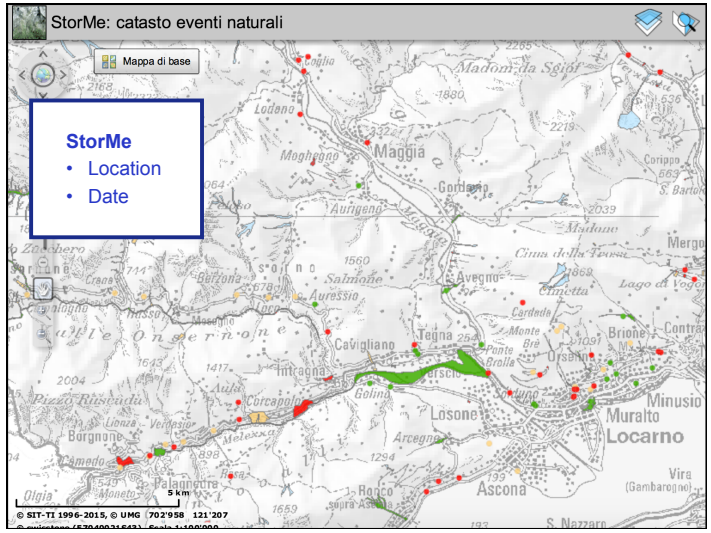
Climate change - debris flows

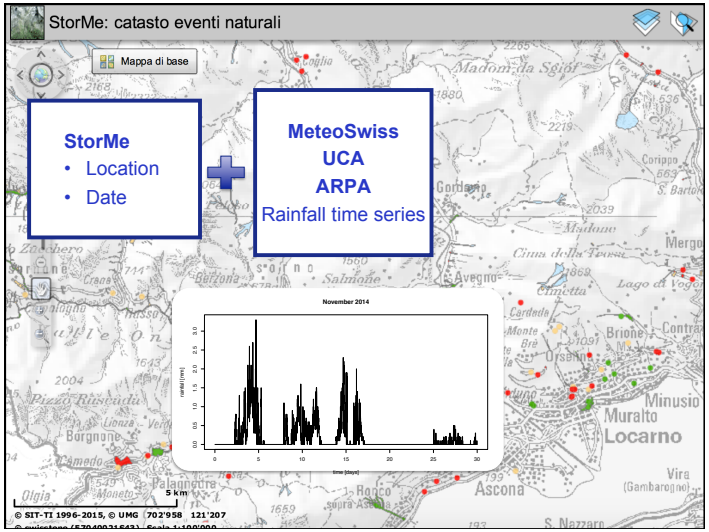
Laura Azzimonti
Alessandro Antonucci
Marco Zaffalon

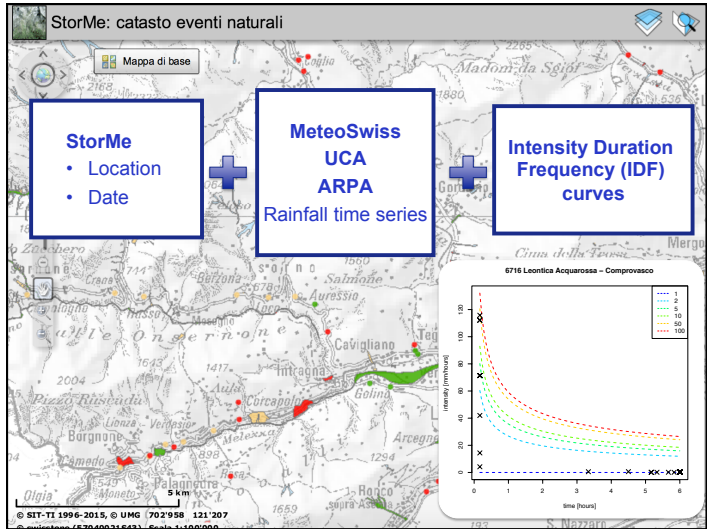
Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence
IDSIA

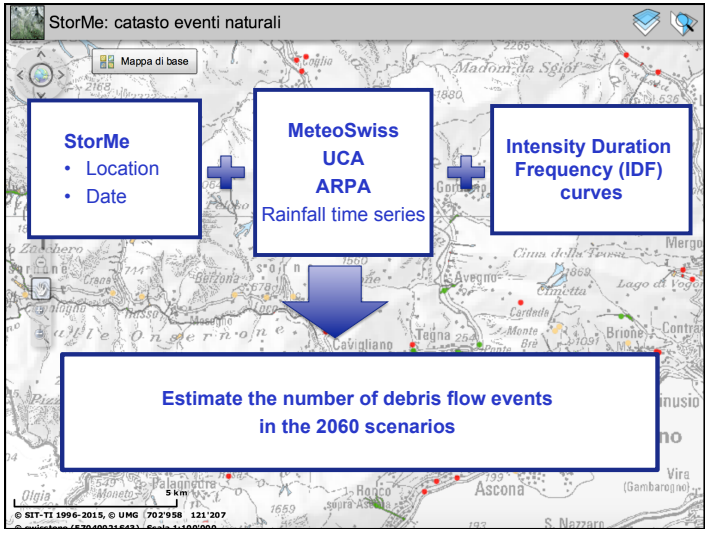
Debris flow Data











SUPSI IDSIA – Azzimonti, Antonucci, Zaffalon 8

Commento #1: Il modello previsionale considerato in questa presentazione si basa su tre basi di dati diverse.

La prima fa riferimento al catasto degli eventi naturali 'StorMe'. Da essa sono stati estratti 251 eventi di colata detritica/alluvionamento avvenuti fra il 2000 ed il 2014. Per ogni evento sono state estratte le coordinate delle localita' colpite e le giornate in cui si sono verificati gli eventi.

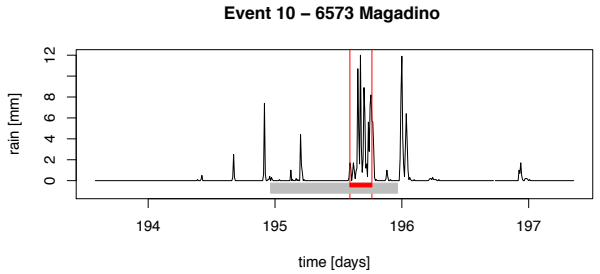
La seconda base di dati riguarda i dati temporali relativi alle precipitazioni registrate da stazioni Meteoswiss, UCA ed Arpa localizzate in Ticino e Lombardia. I dati contengono le intensita' di precipitazione registrate da ogni stazione con intervalli di tempo di 10 o 30 minuti. Le coordinate di ogni stazione sono parimenti disponibili.

La terza sorgente di informazione e' costituita da set di curve IDF che esprimono la relazione fra intensita' e durata di una precipitazione in funzione di uno specifico tempo di ritorno. La relazione funzionale dipende da quattro parametri empirici, quantificate mediante analisi statistica dei dati pluviometrici.

Method

Computation of Intensity and Duration of the rainfall

Debris flows are characterized by long periods of medium intensity rainfall, followed by very intense rainfall.



Computation of Intensity and Duration of the rainfall

Debris flows are characterized by long periods of medium intensity rainfall, followed by very intense rainfall.

Given the rainfall time series R(t), we want to estimate the starting time T_s and the ending time T_e of the rainfall event that activate the debris flow.

Problem:

$$\max_{\substack{T_s,T_e \\ T_s<T_e \\ T_e-T_s \text{ in } [\Delta T_{min},\Delta T_{max}]}} \left\{ \frac{1}{T_e-T_s}\int_{T_s}^{T_e} R(t)dt + \lambda \int_{T_s}^{T_e} R(t)dt \right\}$$

Average intensity during the time interval $[T_s,T_e]$

Total rainfall in $[T_s,T_e]$

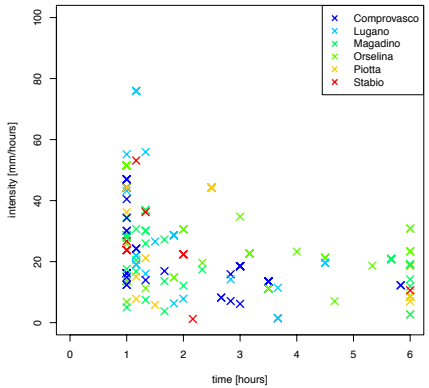
Commento #2: Per ogni evento di colata detritica (o alluvionamento) e' tipicamente indicato il giorno in cui questo ha avuto luogo, ma non l'orario esatto. Questo influisce sulla possibilita' di stimare l'intensita' della precipitazione che tale evento ha innescato.

Per questo motivo e' stato sviluppato un algoritmo di segmentazione temporale che, dopo aver identificato le 5 stazione pluviometriche più vicine, analizza l'andamento delle precipitazioni nel giorno corrente e nelle sei ore della notte precedente. Per ciascuna delle 5 stazioni, l'algoritmo identifica in maniera automatica l'inizio e la fine dell'evento piovoso che massimizza una somma pesata dell'intensita' media (sul periodo) e della pioggia totale (sempre sul periodo). L'ottimizzazione viene effettuata indipendentemente per le 5 stazioni pluviometriche ed e' vincolata ad eventi di durata maggiore di un'ora ed inferiore a sei ore.

La scelta dei pesi nella somma pesata condiziona fortemente i risultati della segmentazione: assegnando maggior peso al termine di durata l'algoritmo identifica durate lunghe (a discapito dell'intensita'), vice versa aumentando il peso dell'altro termine si premia l'intensita' a discapito della durata. La scelta dei pesi (valore attuale lambda=0.005), delle durate minima e massima e del range e' stata compiuta validando i risultati della segmentazione sugli eventi storici con un esperto ambientale.

Tra i 5 potenziali eventi piovosi selezionati (associati alle 5 stazioni più vicine), viene scelto l'evento caratterizzato dalla maggiore intensità media (precipitazione totale diviso durata).

MeteoSwiss + UCA + ARPA data



$\Delta t_{min} = 60\ min$

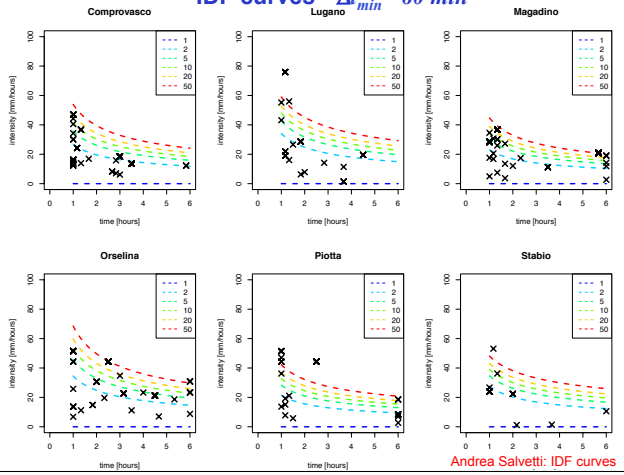
Commento #3: L'algoritmo di segmentazione e' in grado di stimare in maniera automatica l'inizio e la fine, quindi la durata, e l'intensità di ciascun evento piovoso associato ad un evento StorMe.

Ciascun evento corrisponde quindi ad un punto nel piano cartesiano durata (ascissa) su intensita' (ordinata). Ogni evento viene inoltre associato ad una delle sei aree in cui è stato suddiviso il cantone. Ciascuna di queste sei aree è associata ad una stazione di Meteoswiss e per ognuna di esse sono disponibili le curve di intensità-durata-frequenza (IDF) riscalate sulla base dei dati storici, curve che verranno utilizzate nel seguito per valutare i tempi di ritorno associati agli eventi piovosi.
La slide precedente riporta i 251 punti associati in questo modo agli eventi StorMe. I colori fanno riferimento alle sei aree in cui e' stato suddiviso il cantone.

L'addensamento di punti ai bordi è provocato dai limiti sulla durata minima (un'ora, a sinistra) e sulla durata massima (sei ore, a destra) imposti nella ricerca dell'evento piovoso. La scelta di tali valori è stata indotta dal range di valori su cui vengono normalmente create e valutate le curve IDF.

IDF curves - $\Delta t_{min} = 60\ min$

CURRENT PERIOD



Andrea Salvetti: IDF curves

Commento #4: Nella slide precedente i 251 punti/eventi vengono ripartiti fra i sei diversi plot in base all'area di riferimento.

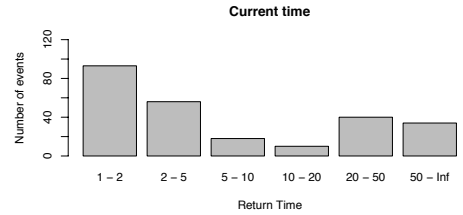
I parametri delle curve IDF per il periodo corrente sono stati ottenuti per mezzo di una riscalatura delle curve IDF che caratterizzano gli eventi piovosi estremi che si verificano nel canton Ticin. La riscalatura viene effettuata sulla base dei dati storici di precipitazione rilevati nelle sei stazioni MeteoSwiss. Ogni plot riporta sei curve, corrispondenti a tempi di ritorno crescenti da uno a cinquanta anni.

Il fatto che un punto sia attraversato da una curva IDF con tempo di ritorno a K anni, significa che condizioni di durata/intensita' di questo tipo si riproporranno ragionevolmente nei prossimi K anni, potendo quindi innescare un evento analogo.

Punti al di sopra della curva dei cinquant'anni (rossa) corrispondono ad eventi molto rari, laddove punti prossimi alla curva di un anno (blu) corrispondono ad eventi molto frequenti.

Frequency of debris flow events - Δt_{min} = 60 min

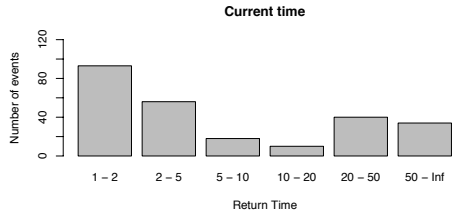
CURRENT PERIOD



Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events	93	56	18	10	40	34

Frequency of debris flow events - Δt_{min} = 60 min

CURRENT PERIOD



Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events	93	56	18	10	40	34

Commento #5: Nella slide precedente vengono riportati i valori, gia' aggregati su tutti i sei plot (ovvero relativi all'intero cantone), di eventi attraversati da curve IDF con tempo di ritorno all'interno di vari range.

Un indicatore sintetico del livello di rischio puo' quindi essere rappresentato dal rapporto fra il numero di eventi con tempo di ritorno inferiore a dieci anni, ovvero 167 casi sui 251 analizzati, pari circa al 67% del totale. Tale valore dovra' essere confrontato con la proiezione al 2060 basata sui modelli climatici A1B e RCP3PD.

Time evolution of IDF curves

- IDF curves revised on the basis of district meteorological data
- IDF curves parameterized in terms of 4 parameters
- IDF curves projected in the A1B scenario for the periods:
  - 2010 – 2020 (1st decade)
  - 2020 – 2030 (2nd decade)
  - 2030 – 2040 (3rd decade)
  - 2040 – 2050 (4th decade)

Time evolution of IDF curves

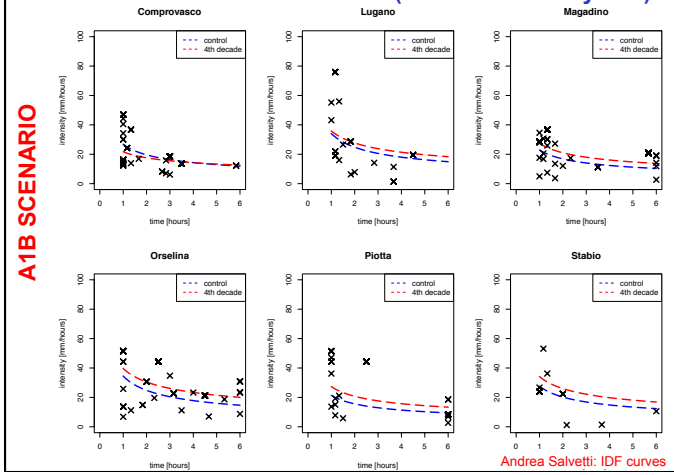
- IDF curves revised on the basis of district meteorological data
- IDF curves parameterized in terms of 4 parameters
- IDF curves projected in the A1B scenario for the periods:
  - 2010 – 2020 (1st decade)
  - 2020 – 2030 (2nd decade)
  - 2030 – 2040 (3rd decade)
  - 2040 – 2050 (4th decade)
- IDF curves for the period 2050 – 2060 (5th decade) of the A1B scenario are obtained by means of **linear regression and extrapolation** of the 4 parameters.

Commento #6: Le curve IDF considerate finora si basano sulle condizioni climatiche attuali. Il modello climatologico A1B si basa su una predizione dei livelli di emissioni e concentrazioni a livello globale. Correzioni per valutare gli effetti locali di dedurre gli effetti sulle precipitazioni. Cio' permette a sua volta di simulare dati di precipitazione basati su questi scenari e, in definitiva, ricavare i parametri delle curve IDF per le prossime decadi.

Le simulazioni basate su tale scenario futuro sono state effettuate dall'esperto in collaborazione con ETHZ utilizzando il modello globale ECHAM5 e il modello regionale REMO. Tali simulazioni hanno permesso di tracciare le curve IDF per ciascuna delle sei aree in Ticino fino al 2050. Per estendere la previsione al 2060 e' stata operata una regressione lineare dei dati precedenti. In questo modo e' stato possibile tracciare le curve IDF per le prossime cinque decadi assumendo un'evoluzione del clima in linea col modello A1B.

Time evolution of IDF curves (return time = 10 years)

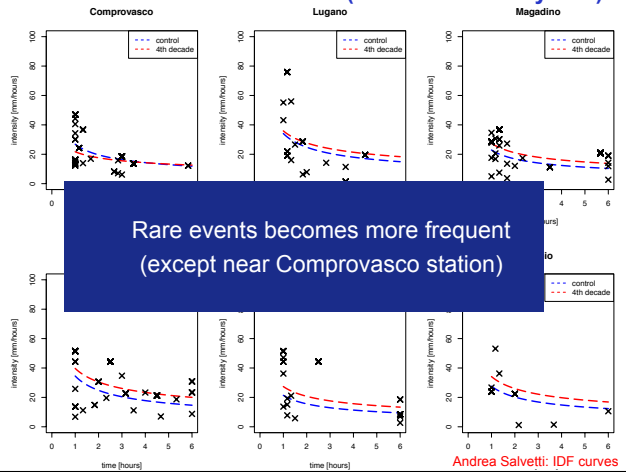
A1B SCENARIO



Andrea Salvetti: IDF curves

Time evolution of IDF curves (return time = 10 years)

A1B SCENARIO



Rare events becomes more frequent
(except near Comprovasco station)

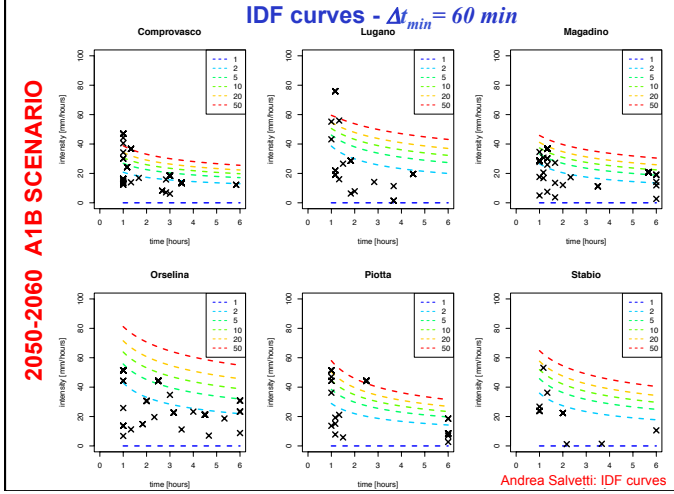
Andrea Salvetti: IDF curves

Commento #7: Per un confronto piu' efficace, la slide precedente riporta, separatamente per ciascuna area, le curve IDF con tempo di ritorno 10 anni relativamente al periodo corrente (rosso) e la proiezione al decennio 2040-2050 (blu) secondo il modello A1B.

Con la sola eccezione di Comprovasco, si nota un innalzamento sistematico delle curve col passare del tempo. Se a parita' di periodo di ritorno, la curva ''futura'' si ''alza'', allora il tempo di ritorno della curva che attraversa un evento tende ad abbassarsi per gli scenari futuri. Eventi che nella decade attuale risultavano rari diventeranno pertanto meno rari in futuro.

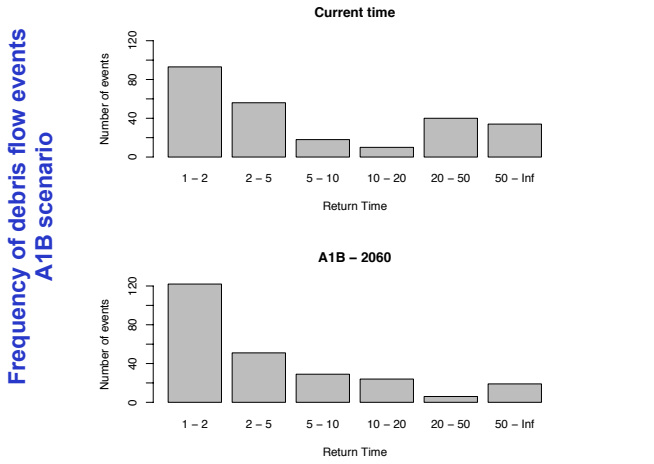
Il differente comportamento di Comprovasco potrebbe essere dovuto al fatto che la serie di dati storici associati a quella stazione è più breve rispetto alle altre stazioni. Inoltre la posizione di tale stazione (al limite della zona interna delle Alpi e all'interno di una valle stretta) potrebbe causare una cattiva performance dei modelli climatici utilizzati per cacolare le curve IDF.

Nella slide successiva la curva relativa alla decade attuale e' stata rimossa laddove sono state aggiunte quelle relative a vari tempi di ritorno per il modello futuro.



Commento #8: Le due slides successive riportano le distribuzioni degli eventi (gia' aggregati su tutte e sei le aree) per range crescenti di periodo di ritorno.

Il trend e' chiaro: siccome le curve si alzano, gli eventi abbassano il loro tempo di ritorno. Eventi rari di potenziale impatto diventano piu' frequenti ed il livello di rischio risulta quindi aumentato. Se secondo lo scenario corrente solo il 67% degli eventi registrati aveva un tempo di ritorno inferiore ai 10 anni (si veda commento #5), nella decade 2050-2060 il modello A1B prevede un aumento del numero di casi a 202 casi sui 251 analizzati, pari all'80% dei casi.



Frequency of debris flow events
A1B scenario - Δt_{min} = 60 min

Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events 2000 - 2010	93	56	18	10	40	34
2010 - 2020	141	85	3	6	10	6
2020 - 2030	95	47	34	12	57	6
2030 - 2040	125	40	26	12	30	18
2040 - 2050	114	59	50	5	7	16
2050 - 2060	122	51	29	24	6	19

Rare events becomes more frequent

Commento #9: Oltre all'analisi sopra descritta relativa alla scenario A1B, si e' cercato di ottenere delle previsioni anche per lo scenario RCP3PD. Curve IDF per tale scenario non sono direttamente disponibili. Si e' pertanto deciso di ottenerle tramite una correzione dei parametri delle curve per lo scenario A1B. Come illustrato nelle due slides successive, il livello di correzione e' stato ottenuto valutando la pioggia totale attuale e per i due scenari A1B e RCP3PD.

I valori numerici collocano lo scenario RCP3PD in una posizione intermedia fra quello attuale ed A1B. Questo riflette la previsione maggiormente ottimistica rispetto ad una possibile riduzione delle emissioni che caratterizza lo scenario RCP3PD rispetto allo scenario A1B. Tale collocazione intermedia per RCP3PD si riflette anche nelle disposizione delle curve a tempo di ritorno fissato (si veda slide corrispondente).

Time evolution of IDF curves

- IDF curves revised on the basis of district meteorological data
- IDF curves parameterized in terms of 4 parameters
- IDF curves projected in the A1B scenario for the periods:
  - 2010 – 2020 (1st decade)
  - 2020 – 2030 (2nd decade)
  - 2030 – 2040 (3rd decade)
  - 2040 – 2050 (4th decade)
- IDF curves for the period 2050 – 2060 (5th decade) of the A1B scenario are obtained by means of **linear regression and extrapolation** of the 4 parameters.
- IDF curves for the period 2050 – 2060 (5th decade) of the RCP3PD scenario are obtained by means of **corrections of the A1B IDF curves** on the basis of rain increase (absolute value).

Rain increase - Lugano

A1B	winter	spring	summer	autumn
Rain current	196.7	560.5	471.8	559.1
2060	270.4	404.3	540.1	449.3

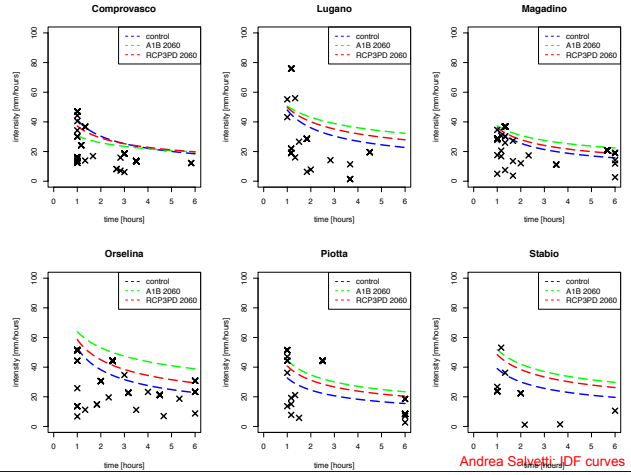
A1B	year
Rain current	1788.1
2060	1664.1

RCP3PD	winter	spring	summer	autumn
Rain 2060	210.4	509.4	458.4	555.8

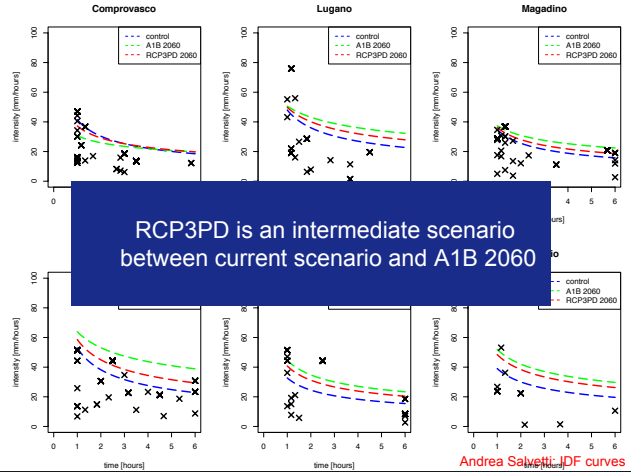
RCP3PD	year
Rain 2060	1734

Correction factor for A1B - IDF parameters

IDF curves (return time = 10 years)



IDF curves (return time = 10 years)



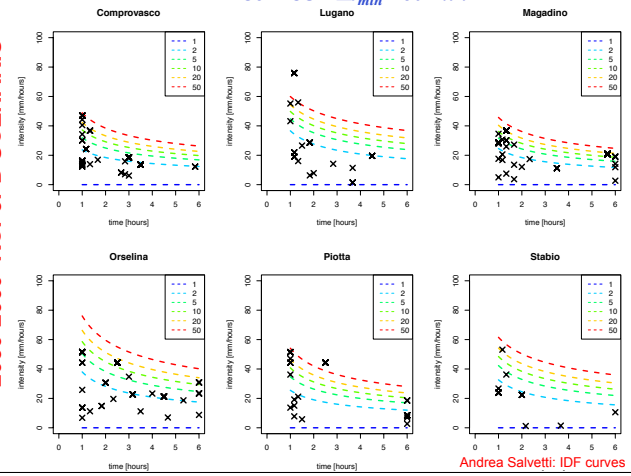
RCP3PD is an intermediate scenario between current scenario and A1B 2060

Commento #11: Tutte le analisi compiute per A1B possono quindi essere ripetute per RCP3PD. Il numero di eventi con tempo di ritorno inferiore ai 10 anni e' in questo caso pari a 174, che corrisponde ad una percentuale del 69% del totale di casi. Come previsto il dato si colloca in posizione intermedia fra quello corrente (67%) e quello basato su A1B (80%), essendo pero' molto piu' vicino al primo.

Una possibile sintesi di tipo qualitativo e' quindi che lo scenario A1B preveda un impatto dei cambiamenti climatici sul numero di eventi piovosi critici che potrebbero innescare colate detritiche nell'area ticinese. L'impatto dei cambiamenti climatici nello scenario RCP3PD sembra essere invece molto limitato.

IDF curves - $\Delta t_{min} = 60$ min

2050-2060 RCP3PD SCENARIO



Frequency of debris flow events
RCP3PD scenario - Δt_{min} = 60 min

Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events 2000 - 2010	93	56	18	10	40	34
2050 - 2060	107	47	20	33	33	11

Rare events becomes more frequent

Summary

Frequency of debris flow events
A1B scenario - Δt_{min} = 60 min

Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events 2000 - 2010	93	56	18	10	40	34
2010 - 2020	141	85	3	6	10	6
2020 - 2030	95	47	34	12	57	6
2030 - 2040	125	40	26	12	30	18
2040 - 2050	114	59	50	5	7	16
2050 - 2060	122	51	29	24	6	19

Rare events becomes more frequent

Frequency of debris flow events
Δt_{min} = 60 min

Return time	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - Inf
# of events 2000 - 2010	93	56	18	10	40	34
RCP3PD 2050 - 2060	107	47	20	33	33	11
A1B 2050 - 2060	122	51	29	24	6	19

Open questions

- The IDF curves for scenario A1B correspond to the “strong” (maximum rain) or to the “weak” (mean rain) scenario?
  - Sono state generate a partire da uno dei sei modelli da cui vengono ricavati scenario forte e debole. Non corrispondono nè allo scenario forte nè a quello debole.
- Are the seasonal IDF curves for the current period available?
  - No, non sono disponibili.

ANHANG A3

Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit

A3 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit: Verletzte

Einheit : Anzahl Verletzte

	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1980	0.000	0.000	0.000
1981	0.000	0.000	0.000
1982	0.000	0.000	0.000
1983	0.000	0.000	0.000
1984	0.000	0.000	0.000
1985	0.000	0.000	0.000
1986	0.000	0.000	2.000
1987	0.000	0.000	0.000
1988	0.000	0.000	0.000
1989	0.000	0.000	0.000
1990	0.000	0.000	0.000
1991	0.000	0.000	0.000
1992	0.000	0.000	0.000
1993	0.000	0.000	0.000
1994	0.000	0.000	7.000
1995	0.000	0.000	0.000
1996	0.000	0.000	0.000
1997	1.000	2.000	0.000
1998	0.000	0.000	0.000
1999	0.000	0.000	0.000
2000	0.000	0.000	0.000
2001	0.000	0.000	0.000
2002	0.000	0.000	0.000
2003	0.000	0.000	0.000
2004	0.000	1.000	0.000
2005	0.000	0.000	0.000
2006	2.000	1.000	3.000
2007	0.000	0.000	0.000
2008	0.000	0.000	0.000
2009	0.000	0.000	0.000
2010	0.000	0.000	0.000
2011	0.000	0.000	0.000
2012	0.000	0.000	0.000
2013	0.000	0.000	0.000
2014	2.000	0.000	0.000
max	2.000	2.000	7.000
min	0.000	0.000	0.000
sum	5.000	4.000	12.0
Verhältnis zu Lawinen	42%	33%	100%

Werte Klassen

v1	0.2	0.2	0.5
v2	1	1	2
v3	1	1	3
v4	3	2	7

Anzal Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	32	32	32
5	0	0	1
10	1	2	1
30	2	1	1
Jährliche Schadensumme	0.38	0.31	0.92

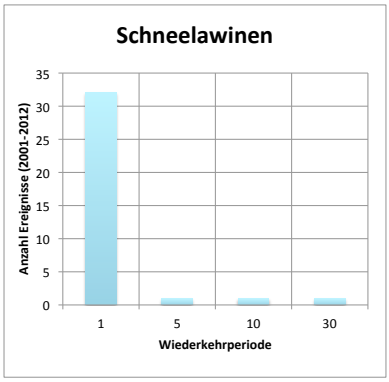
Faktoren zu künftiger Szenarien

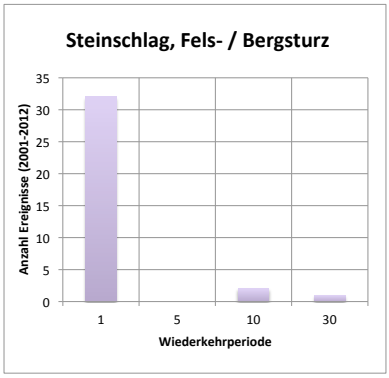
Szenario schwach

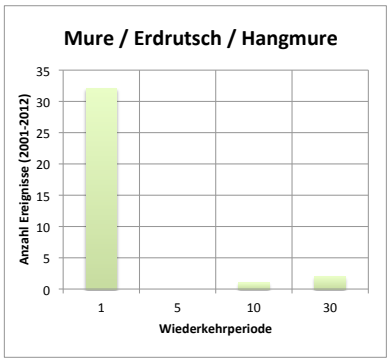
Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	1	0.9	0.9
5	1	0.9	0.9
10	1.1	0.9	1
30	1.1	0.9	1
Jährliche Schadensumme	0.40	0.28	0.87

Szenario stark

Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	1.2	0.8	0.8
5	1.2	0.8	0.8
10	1.7	0.8	1.125
30	1.7	0.8	1.125
Jährliche Schadensumme	0.55	0.24	0.87







A3 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gesundheit: Tote

Einheit : Anzahl Tote

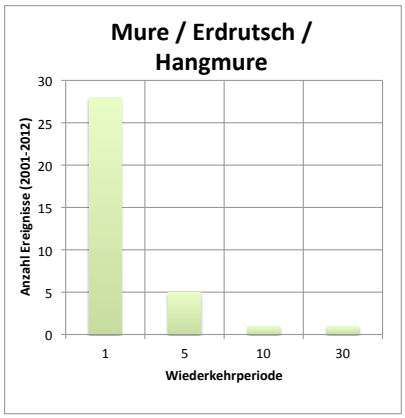
	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Schneelawinen
1980	0.0	0.0
1981	0.0	0.0
1982	1.0	0.0
1983	0.0	0.0
1984	0.0	1.0
1985	0.0	0.0
1986	0.0	0.0
1987	0.0	0.0
1988	0.0	0.0
1989	0.0	0.0
1990	0.0	0.0
1991	0.0	0.0
1992	2.0	0.0
1993	1.0	0.0
1994	0.0	0.0
1995	0.0	0.0
1996	0.0	0.0
1997	0.0	0.0
1998	0.0	0.0
1999	1.0	0.0
2000	0.0	0.0
2001	0.0	0.0
2002	0.0	0.0
2003	1.0	0.0
2004	0.0	1.0
2005	0.0	0.0
2006	1.0	0.0
2007	0.0	0.0
2008	0.0	0.0
2009	0.0	0.0
2010	0.0	0.0
2011	0.0	0.0
2012	0.0	0.0
2013	0.0	0.0
2014	4.0	0.0
max	4.000	1.000
min	0.000	0.000
sum	11.000	2.000
Verhältnis zu Mure/Erdrutsch/Hangmure	100%	18%

Werte Klassen

v1	0.5	0.1
v2	1.0	0.2
v3	3.0	0.5
v4	4.0	0.7

Anzal Ereignisse pro Wiederkehrperiode

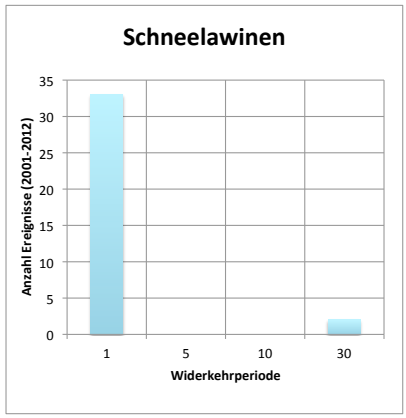
Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Schneelawinen
1	28	33
5	5	0
10	1	0
30	1	2
Jährliche Schadensumme	0.72	0.13



Faktoren zu künftiger Szenarien

Szenario schwach Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Schneelawinen
1	1	0.9
5	1	0.9
10	1.1	1
30	1.1	1
Jährliche Schadensumme	0.75	0.12

Szenario stark Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Schneelawinen
1	1.2	0.8
5	1.2	0.8
10	1.7	1.125
30	1.7	1.125
Jährliche Schadensumme	1.02	0.12



ANHANG A4

Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft

A4 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft: Unwetterschadens-Datenbank WSL und schweizerischer Elementarschädenfonds

Einheit : Mio. Fr. Schäden

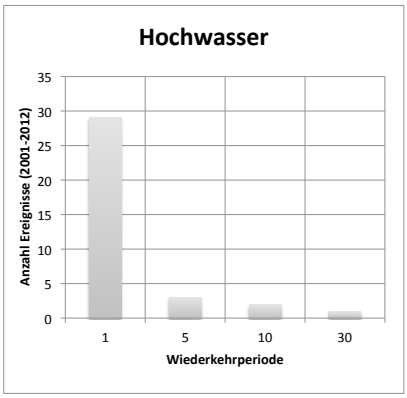
	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1980	-	-
1981	2.1	0.03
1982	0.28	0.01
1983	5	0.01
1984	-	-
1985	-	-
1986	1.52	0.02
1987	5.94	0.2
1988	0.06	0.01
1989	0.18	-
1990	-	-
1991	0.03	-
1992	0.08	0.08
1993	19.87	2.1
1994	0.03	0.01
1995	0.07	0.05
1996	0.11	0.20
1997	0.00	0.03
1998	0.07	0.14
1999	0.00	0.15
2000	3.93	0.18
2001	0.04	0.31
2002	0.29	0.35
2003	0.24	0.65
2004	0.04	0.01
2005	0.02	0.04
2006	0.03	0.08
2007	0.07	0.03
2008	0.45	0.34
2009	0.01	0.13
2010	0.00	0.03
2011	0.03	0.03
2012	0.00	0.01
2013	0.01	0.07
2014	0.02	0.06
max	20	2
min	-	-
sum	41	5
Verhältnis zu Hochwasser	100%	13%

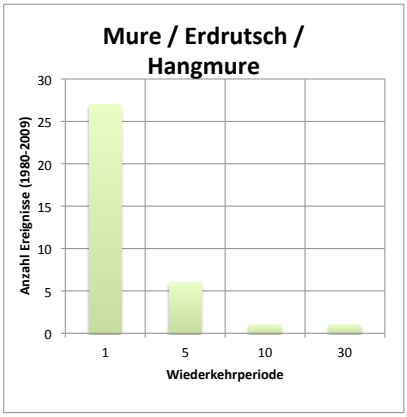
Werte Klassen

v1	1.20	0.16
v2	4.00	0.53
v3	8.00	1.05
v4	20	6

Anzal Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	29	27
5	3	6
10	2	1
30	1	1
Jährliche Schadensumme	2.19	0.34





Faktoren zu künftiger Szenarien

Szenario schwach		
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	1	1
5	1	1
10	1	1.1
30	1	1.1
Jährliche Schadensumme	2.2	0.4

Szenario stark		
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	1.4	1.2
5	1.4	1.2
10	1.4	1.7
30	1.4	1.7
Jährliche Schadensumme	3.1	0.5

A4 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft: Hagelversicherung und schweizerischer Elementarschädenfonds

Einheit : Mio. Fr. Schäden

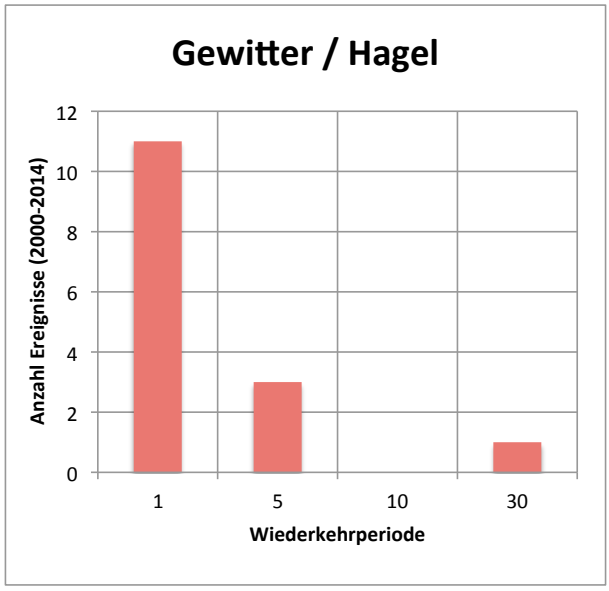
	Gewitter / Hagel
2000	2.64
2001	0.48
2002	0.28
2003	0.49
2004	0.45
2005	0.65
2006	0.74
2007	0.18
2008	0.29
2009	0.51
2010	0.03
2011	0.38
2012	0.47
2013	0.19
2014	0.06
max	3
min	0
sum	8
Verhältnis zu Gewitter/Hagel	100%

Werte Klassen

v1	0.50
v2	1.00
v3	2.00
v4	3

Anzal Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	**Gewitter / Hagel**
1	11
5	3
10	0
30	1
Jährliche Schadensumme	0.63



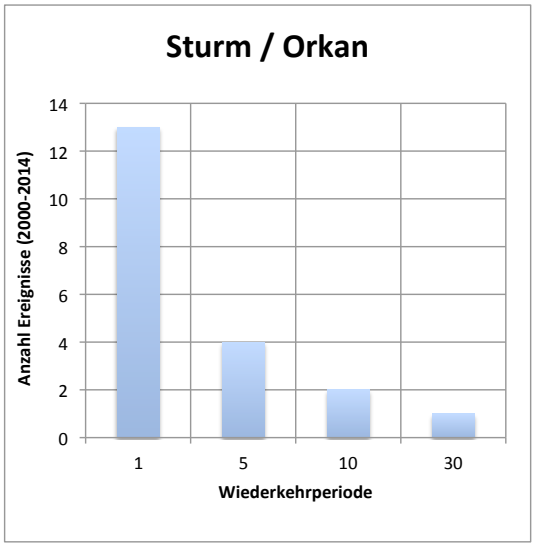
A4 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Landwirtschaft: schweizerischer Elementarschädenfonds

Einheit : Mio. Fr. Schäden

	Sturm / Orkan
1995	0.00
1996	0.00
1997	0.00
1998	0.00
1999	0.05766
2000	0.01270
2001	0.01970
2002	0.00250
2003	0.00620
2004	0.00000
2005	0.00000
2006	0.00000
2007	0.00150
2008	0.00000
2009	0.03950
2010	0.00000
2011	0.00540
2012	0.00000
2013	0.00450
2014	0.00000
max	0.06
min	-
sum	0.15
Werte Klassen	
v1	0.003
v2	0.02
v3	0.05
v4	0

Anzal Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	**Sturm / Orkan**
1	13
5	4
10	2
30	1
Jährliche Schadensumme	0.009



ANHANG A5

Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude

A5 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude: Gebäude

Einheit: Mio Fr. Schäden

	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
2001	5.469	9.482	1.630	0.305	0.109	0.930	0.902
2002	24.988	8.585	4.612	0.673	0.062	0.497	0.255
2003	2.622	4.761	0.333	0.206	0.001	16.776	1.064
2004	2.176	4.431	0.310	0.339	0.021	0.994	0.593
2005	0.348	3.422	0.093	0.174	0.066	11.554	0.676
2006	9.143	6.143	0.862	0.510	0.020	8.035	2.627
2007	0.705	2.365	0.082	0.167	0.011	31.132	0.034
2008	12.338	2.701	1.143	0.328	0.116	2.026	1.221
2009	6.384	5.304	1.403	0.394	0.279	5.653	3.934
2010	0.331	1.811	0.142	0.178	0.037	1.071	0.330
2011	3.036	4.408	0.221	0.145	0.052	1.657	0.126
2012	0.457	6.800	0.130	0.134	0.015	12.912	0.203
max	24.988	9.482	4.612	0.673	0.279	31.132	3.934
min	0.331	1.811	0.082	0.134	0.001	0.497	0.034
sum	67.996	60.214	10.962	3.553	0.789	93.238	11.962
Verhältnis zu Gewitter/Hagel	73%	65%	12%	4%	1%	100%	13%

Werte Klassen

v1	5.1	4.5	0.8	0.27	0.06	7	0.9
v2	9.5	8.4	1.5	0.5	0.11	13	1.7
v3	14.6	12.9	2.4	0.8	0.2	20	2.6
v4	23.3	20.7	3.8	1.2	0.3	32	4.1

Anzahl Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
1	7	6	7	6	7	7	7
5	3	4	3	4	3	3	3
10	1	2	1	2	1	1	0
30	1	0	1	0	1	1	2
Jährliche Schadensumme	5.85	5.18	0.94	0.31	0.07	8.02	1.03

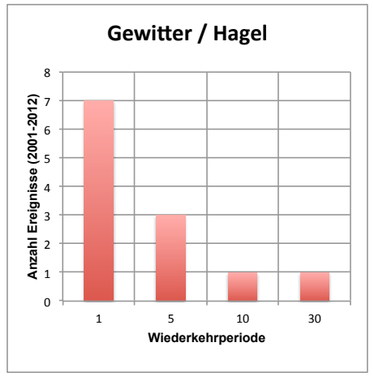
Faktoren zu künftiger Szenarien

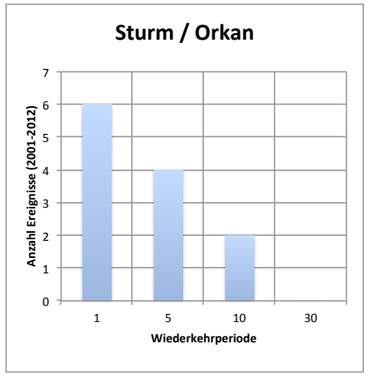
Szenario schwach

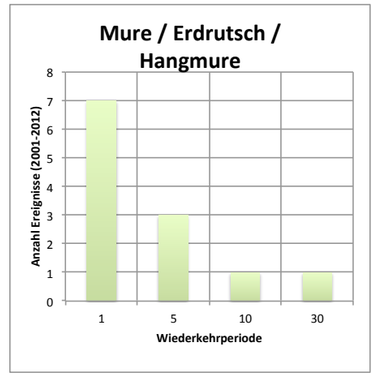
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
5	1	1	1	0.9	0.9	1	0.8
10	1	1	1	0.9	0.9	1	0.8
30	1	1	1.1	0.9	1	1	0.8
0	1	1	1.1	0.9	1	1	0.8
Jährliche Schadensumme	5.85	5.18	0.97	0.27	0.06	8.02	0.82

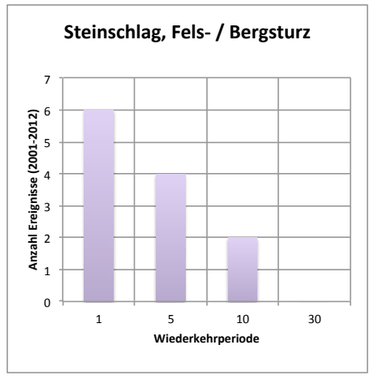
Szenario stark

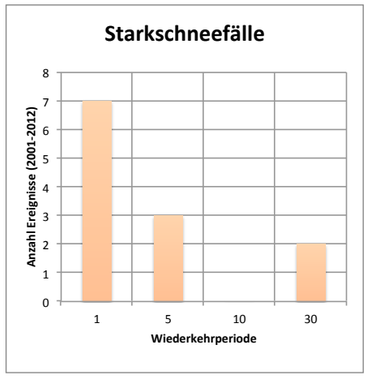
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
5	1.4	1	1.2	0.8	0.8	1	0.6
10	1.4	1	1.2	0.8	0.8	1	0.6
30	1.4	1	1.7	0.8	1.125	1	0.6
30	1.4	1	1.7	0.8	1.125	1	0.6
Jährliche Schadensumme	8.18	5.18	1.28	0.24	0.06	8.02	0.62

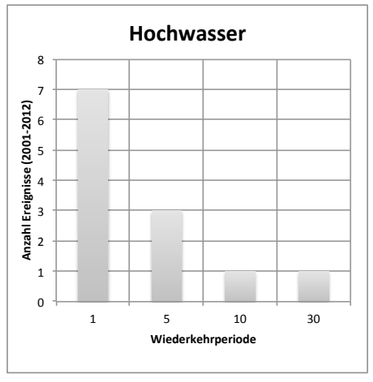


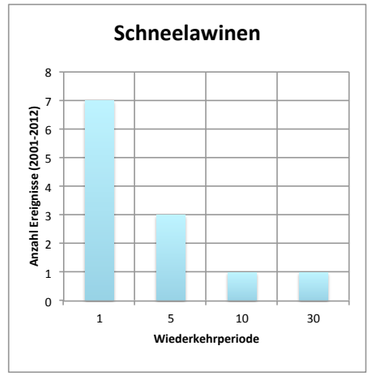












A5 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude: Fahrgüte

Einheit: Mio Fr. Schäden

	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
2001	2.811	2.188	1.614	0.065	0.020	0.097	0.065
2002	9.759	1.545	0.854	0.200	0.007	0.013	0.093
2003	1.166	0.817	0.069	0.189	0.002	0.937	0.263
2004	0.952	0.664	0.039	0.185	0.001	0.106	0.119
2005	0.768	0.700	0.367	0.084	0.009	0.731	0.133
2006	7.392	1.231	0.108	0.183	0.008	0.450	0.388
2007	0.370	0.448	0.000	0.103	0.012	2.585	0.002
2008	6.509	0.667	0.507	0.139	0.016	0.180	0.356
2009	3.439	0.959	0.463	0.053	0.051	0.358	0.516
2010	0.287	0.425	0.363	0.072	0.012	0.070	0.018
2011	2.277	1.067	0.028	0.039	0.004	0.103	0.004
2012	0.233	1.768	0.060	0.035	0.036	0.501	0.048
max	9.759	2.188	1.614	0.200	0.051	2.585	0.516
min	0.233	0.425	0.000	0.035	0.001	0.013	0.002
sum	35.962	12.479	4.472	1.347	0.176	6.132	2.005
Verhältnis zu Hochwasser	100%	35%	12%	4%	0%	17%	6%

Werte Klassen							
v1	3	1.0	0.4	0.1	0.015	0.5	0.2
v2	5	1.7	0.6	0.2	0.024	0.9	0.3
v3	9	3.1	1.1	0.3	0.0	1.5	0.5
v4	26	9.0	3.2	1.0	0.1	4.4	1.4

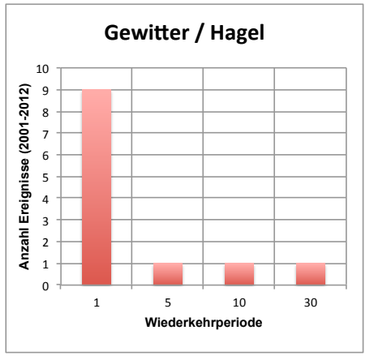
Anzahl Ereignisse pro Wiederkehrperiode

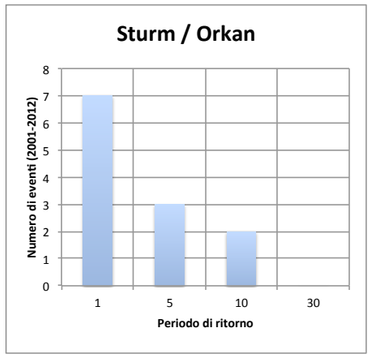
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
1	8	7	8	7	8	9	8
5	1	3	2	3	2	1	1
10	2	2	1	2	1	1	2
30	1	0	1	0	1	1	1
Jährliche Schadensumme	3.58	1.24	0.45	0.13	0.02	0.61	0.20

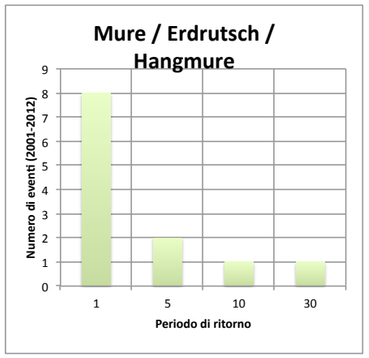
Faktoren zu künftiger Szenarien

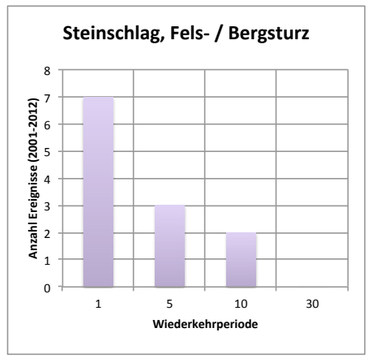
Szenario schwach							
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
5	1	1	1	0.9	0.9	1	0.8
10	1	1	1	0.9	0.9	1	0.8
30	1	1	1.1	0.9	1	1	0.8
0	1	1	1.1	0.9	1	1	0.8
Jährliche Schadensumme	3.58	1.24	0.46	0.12	0.02	0.61	0.16

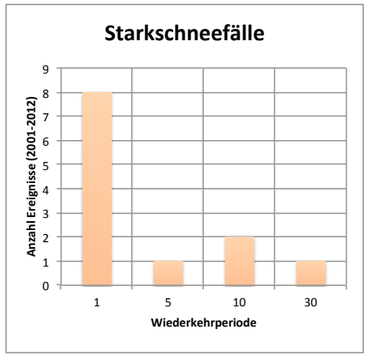
Szenario stark							
Wiederkehrperiode	Hochwasser	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen	Gewitter / Hagel	Starkschneefälle
5	1.4	1	1.2	0.8	0.8	1	0.6
10	1.4	1	1.2	0.8	0.8	1	0.6
30	1.4	1	1.7	0.8	1.125	1	0.6
30	1.4	1	1.7	0.8	1.125	1	0.6
Jährliche Schadensumme	5.02	1.24	0.61	0.11	0.02	0.61	0.12

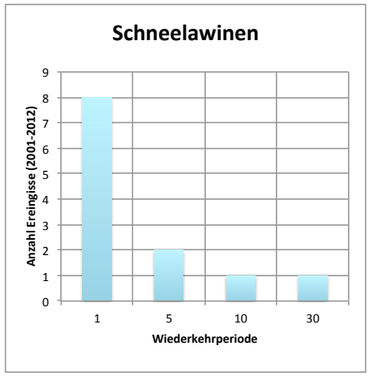












A5 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude: Fahrbahn SBB

Einheit: Fr. Schäden

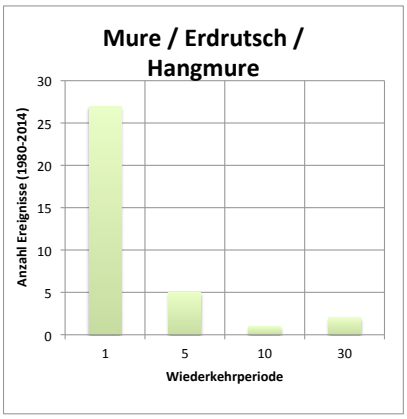
	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1980	-	-
1981	-	2'000'000
1982	-	-
1983	-	-
1984	-	30'000
1985	-	10'000
1986	-	-
1987	200'000	-
1988	-	-
1989	-	10'000
1990	-	-
1991	-	-
1992	-	-
1993	700'000	-
1994	-	1'000
1995	-	-
1996	100'000	-
1997	-	-
1998	-	10'000
1999	-	10'000
2000	-	10'000
2001	-	-
2002	-	-
2003	10'000	100'000
2004	-	-
2005	-	-
2006	10'000	100'000
2007	-	140'000
2008	10'000	500'000
2009	-	-
2010	-	10'000
2011	-	2'410'000
2012	-	-
2013	600'000	10'000
2014	10'000	830'000
max	700'000	2'410'000
min	-	-
sum	1'640'000	6'181'000
Verhältnis zu Steinschlag, Fels- / Bergsturz	27%	100%

Werte Klassen

v1	2'653.29	10'000
v2	132'665	500'000
v3	596'991	2'250'000
v4	795'988	3'000'000

Anzahl Ereignisse pro Wiederkehrperiode

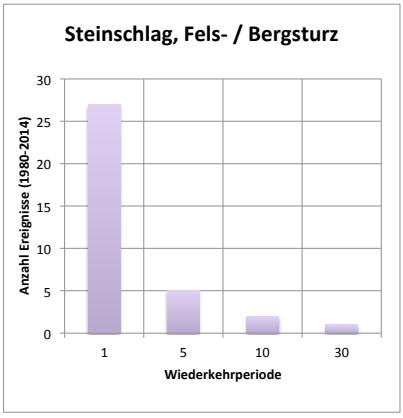
Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1	27	27
5	5	5
10	1	2
30	2	1
Jährliche Schadensumme	74'558	281'000



Faktoren zu künftiger Szenarien

Szenario schwach Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1	1	0.9
5	1	0.9
10	1.1	0.9
30	1.1	0.9
Jährliche Schadensumme	80'527	252'900

Szenario stark Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1	1.2	0.8
5	1.2	0.8
10	1.7	0.8
10	1.7	0.8
Jährliche Schadensumme	119'318.56	224'800



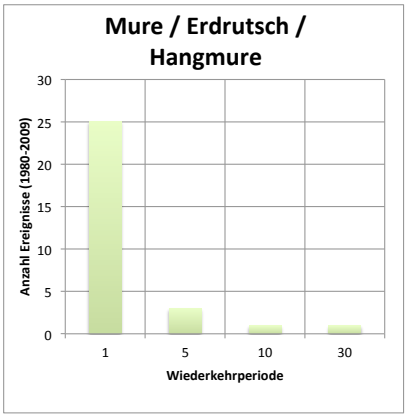
A5 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude: Anzahl Evakuierte

Einheit : Anzahl Evakuierte

	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1980	-	-	-
1981	-	-	-
1982	-	-	-
1983	-	-	-
1984	-	-	-
1985	-	-	-
1986	-	-	-
1987	-	-	-
1988	-	-	-
1989	-	-	-
1990	-	-	-
1991	-	-	-
1992	-	-	-
1993	20	-	-
1994	-	-	40
1995	-	-	-
1996	-	-	-
1997	30	-	-
1998	-	-	-
1999	-	-	-
2000	-	-	-
2001	-	6	-
2002	25	-	-
2003	22	-	-
2004	-	-	-
2005	-	-	-
2006	-	-	-
2007	-	-	-
2008	16	-	-
2009	-	-	-
max	30	6	40
min	-	-	-
sum	113	6	40
Verhältnis zu Steinschlag, Fels- / Bergsturz	100%		
Werte Klassen			
v1	5	-	-
v2	24	-	-
v3	28	-	-
v4	30	6	40

Anzahl Ereignisse pro Wiederkehrperiode

Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	25	29	29
5	3	0	0
10	1	0	0
30	1	1	1
Jährliche Schadensumme	9.0	0.2	1.3



Faktoren zu künftiger Szenarien

Szenario schwach Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	1	0.9	0.9
5	1	0.9	0.9
10	1.1	0.9	1
30	1.1	0.9	1
Jährliche Schadensumme	9.32	0.2	1.3

Szenario stark Wiederkehrperiode	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Schneelawinen
1	1.2	0.8	0.8
5	1.2	0.8	0.8
10	1.7	0.8	1.125
10	1.7	0.8	1.125
Jährliche Schadensumme	12.54	0.2	1.5

ANHANG A6

Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

A6 - Erwartungswert und Wiederkehrperiode der Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Infrastruktur und Gebäude: Schäden an Wasserinfrastrukturen

Einheit : Mio. Fr. Schäden

	Gewitter / Hagel
1998	0.81
1999	-
2000	0.08
2001	-
2002	1.05
2003	0.01
2004	-
2005	-
2006	-
2007	-
2008	0.00500
2009	0.10
2010	-
2011	-
2012	0.07
2013	-
2014	-
max	1
min	-
sum	2

Werte Klassen

v1	0.005
v2	0.1
v3	1.0
v4	2.0

COUNT

Wiederkehrperiode	Gewitter / Hagel
1	11
5	3
10	2
30	1
Jährliche Schadensumme	0.118

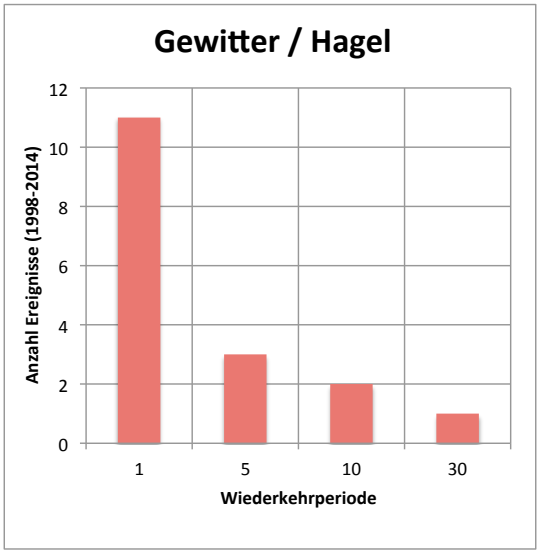
Faktoren zu künftiger Szenarien

Szenario schwach

Wiederkehrperiode	Gewitter / Hagel
1	1
5	1
10	1
30	1
Jährliche Schadensumme	0.12

Szenario stark

Wiederkehrperiode	Gewitter / Hagel
1	1
5	1
10	1
10	1
Jährliche Schadensumme	0.12



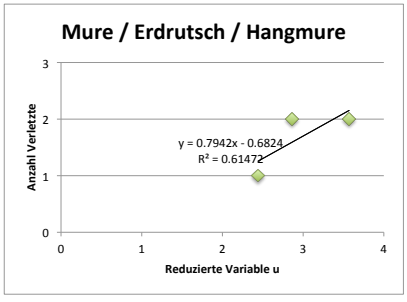
ANHANG A7

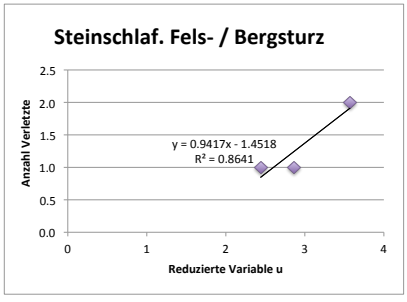
Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Gesundheit

A7 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Gesundheit: Verletzte

	Einheit : Anzahl Verletzte	
	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1980	0.000	0.000
1981	0.000	0.000
1982	0.000	0.000
1983	0.000	0.000
1984	0.000	0.000
1985	0.000	0.000
1986	0.000	0.000
1987	0.000	0.000
1988	0.000	0.000
1989	0.000	0.000
1990	0.000	0.000
1991	0.000	0.000
1992	0.000	0.000
1993	0.000	0.000
1994	0.000	0.000
1995	0.000	0.000
1996	0.000	0.000
1997	1.000	2.000
1998	0.000	0.000
1999	0.000	0.000
2000	0.000	0.000
2001	0.000	0.000
2002	0.000	0.000
2003	0.000	0.000
2004	0.000	1.000
2005	0.000	0.000
2006	2.000	1.000
2007	0.000	0.000
2008	0.000	0.000
2009	0.000	0.000
2010	0.000	0.000
2011	0.000	0.000
2012	0.000	0.000
2013	0.000	0.000
2014	2.000	0.000

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1	0.028	-1.276	0	0
2	0.056	-1.061	0	0
3	0.083	-0.910	0	0
4	0.111	-0.787	0	0
5	0.139	-0.680	0	0
6	0.167	-0.583	0	0
7	0.194	-0.493	0	0
8	0.222	-0.408	0	0
9	0.250	-0.327	0	0
10	0.278	-0.248	0	0
11	0.306	-0.170	0	0
12	0.333	-0.094	0	0
13	0.361	-0.018	0	0
14	0.389	0.057	0	0
15	0.417	0.133	0	0
16	0.444	0.210	0	0
17	0.472	0.287	0	0
18	0.500	0.367	0	0
19	0.528	0.448	0	0
20	0.556	0.531	0	0
21	0.583	0.618	0	0
22	0.611	0.708	0	0
23	0.639	0.803	0	0
24	0.667	0.903	0	0
25	0.694	1.009	0	0
26	0.722	1.123	0	0
27	0.750	1.246	0	0
28	0.778	1.381	0	0
29	0.806	1.531	0	0
30	0.833	1.702	0	0
31	0.861	1.900	0	0
32	0.889	2.139	0	0
33	0.917	2.442	1	1
34	0.944	2.862	2	1
35	0.972	3.569	2	2





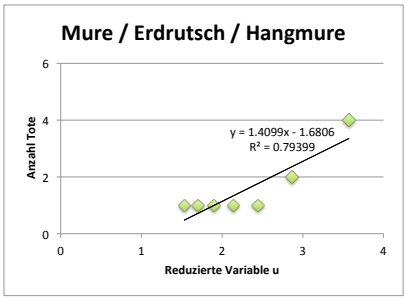
Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre			Einheit : Anzahl Verletzte	
Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
100	0.990	4.60	2.97	2.88

A7 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Gesundheit: Tote

Einheit : Anzahl Tote

	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1980	0.0
1981	0.0
1982	1.0
1983	0.0
1984	0.0
1985	0.0
1986	0.0
1987	0.0
1988	0.0
1989	0.0
1990	0.0
1991	0.0
1992	2.0
1993	1.0
1994	0.0
1995	0.0
1996	0.0
1997	0.0
1998	0.0
1999	1.0
2000	0.0
2001	0.0
2002	0.0
2003	1.0
2004	0.0
2005	0.0
2006	1.0
2007	0.0
2008	0.0
2009	0.0
2010	0.0
2011	0.0
2012	0.0
2013	0.0
2014	4.0

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	0.028	-1.276	0
2	0.056	-1.061	0
3	0.083	-0.910	0
4	0.111	-0.787	0
5	0.139	-0.680	0
6	0.167	-0.583	0
7	0.194	-0.493	0
8	0.222	-0.408	0
9	0.250	-0.327	0
10	0.278	-0.248	0
11	0.306	-0.170	0
12	0.333	-0.094	0
13	0.361	-0.018	0
14	0.389	0.057	0
15	0.417	0.133	0
16	0.444	0.210	0
17	0.472	0.287	0
18	0.500	0.367	0
19	0.528	0.448	0
20	0.556	0.531	0
21	0.583	0.618	0
22	0.611	0.708	0
23	0.639	0.803	0
24	0.667	0.903	0
25	0.694	1.009	0
26	0.722	1.123	0
27	0.750	1.246	0
28	0.778	1.381	0
29	0.806	1.531	1
30	0.833	1.702	1
31	0.861	1.900	1
32	0.889	2.139	1
33	0.917	2.442	1
34	0.944	2.862	2
35	0.972	3.569	4



Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Anzahl Tote

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure
100	0.990	4.60	4.8

ANHANG A8

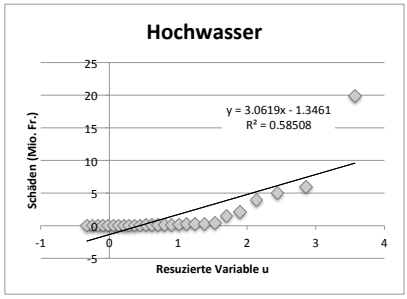
Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Landwirtschaft

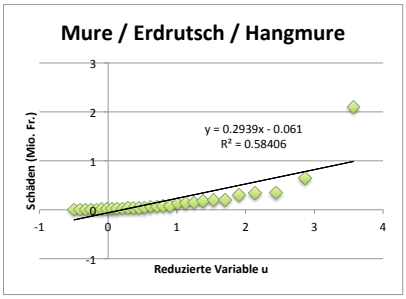
A8 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Landwirtschaft: Unwetterschadens-Datenbank WSL und schweizerischer Elementarschädenfonds

Einheit : Mio. Fr. Schäden

	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1980	-	-
1981	2.1	0.03
1982	0.28	0.01
1983	5	0.01
1984	-	-
1985	-	-
1986	1.52	0.02
1987	5.94	0.2
1988	0.06	0.01
1989	0.18	-
1990	-	-
1991	0.03	-
1992	0.08	0.08
1993	19.87	2.1
1994	0.03	0.01
1995	0.07	0.05
1996	0.11	0.20
1997	0.00	0.03
1998	0.07	0.14
1999	0.00	0.15
2000	3.93	0.18
2001	0.04	0.31
2002	0.29	0.35
2003	0.24	0.65
2004	0.04	0.01
2005	0.02	0.04
2006	0.03	0.08
2007	0.07	0.03
2008	0.45	0.34
2009	0.01	0.13
2010	0.00	0.03
2011	0.03	0.03
2012	0.00	0.01
2013	0.01	0.07
2014	0.02	0.06

Rang	F	u	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	0.028	-1.276	0.00	0.00
2	0.056	-1.061	0.00	0.00
3	0.083	-0.910	0.00	0.00
4	0.111	-0.787	0.00	0.00
5	0.139	-0.680	0.00	0.00
6	0.167	-0.583	0.00	0.00
7	0.194	-0.493	0.00	0.01
8	0.222	-0.408	0.00	0.01
9	0.250	-0.327	0.01	0.01
10	0.278	-0.248	0.01	0.01
11	0.306	-0.170	0.02	0.01
12	0.333	-0.094	0.02	0.01
13	0.361	-0.018	0.03	0.02
14	0.389	0.057	0.03	0.03
15	0.417	0.133	0.03	0.03
16	0.444	0.210	0.03	0.03
17	0.472	0.287	0.04	0.03
18	0.500	0.367	0.04	0.03
19	0.528	0.448	0.06	0.04
20	0.556	0.531	0.07	0.05
21	0.583	0.618	0.07	0.06
22	0.611	0.708	0.07	0.07
23	0.639	0.803	0.08	0.08
24	0.667	0.903	0.11	0.08
25	0.694	1.009	0.18	0.13
26	0.722	1.123	0.24	0.14
27	0.750	1.246	0.28	0.15
28	0.778	1.381	0.29	0.18
29	0.806	1.531	0.45	0.20
30	0.833	1.702	1.52	0.20
31	0.861	1.900	2.10	0.31
32	0.889	2.139	3.93	0.34
33	0.917	2.442	5.00	0.35
34	0.944	2.862	5.94	0.65
35	0.972	3.569	19.87	2.10





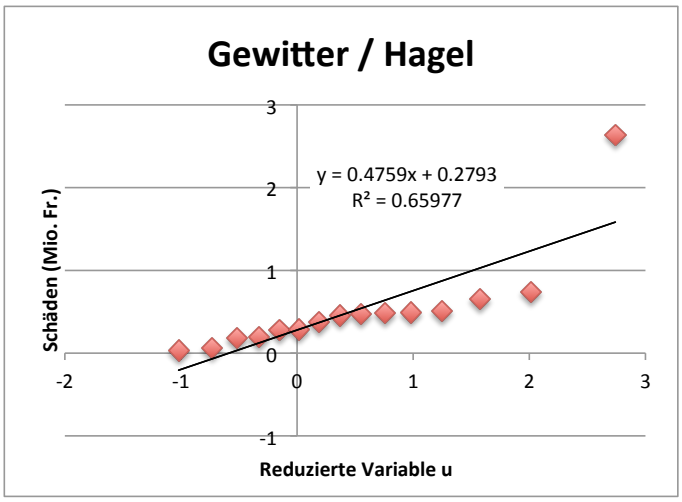
Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Mio. Fr. Schäden

Rang	F	u	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure
100	0.990	4.60	13	1.29

A8 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Landwirtschaft: Hagelversicherung und schweizerischer Elementarschädenfonds

	Einheit : Mio. Fr. Schäden Gewitter / Hagel
2000	2.64
2001	0.48
2002	0.28
2003	0.49
2004	0.45
2005	0.65
2006	0.74
2007	0.18
2008	0.29
2009	0.51
2010	0.03
2011	0.38
2012	0.47
2013	0.19
2014	0.06

Rang	F	u	Gewitter / Hagel
1	0.063	-1.020	0.032
2	0.125	-0.732	0.059
3	0.188	-0.515	0.182
4	0.250	-0.327	0.194
5	0.313	-0.151	0.279
6	0.375	0.019	0.285
7	0.438	0.190	0.376
8	0.500	0.367	0.454
9	0.563	0.553	0.474
10	0.625	0.755	0.481
11	0.688	0.982	0.491
12	0.750	1.246	0.512
13	0.813	1.572	0.652
14	0.875	2.013	0.743
15	0.938	2.740	2.637



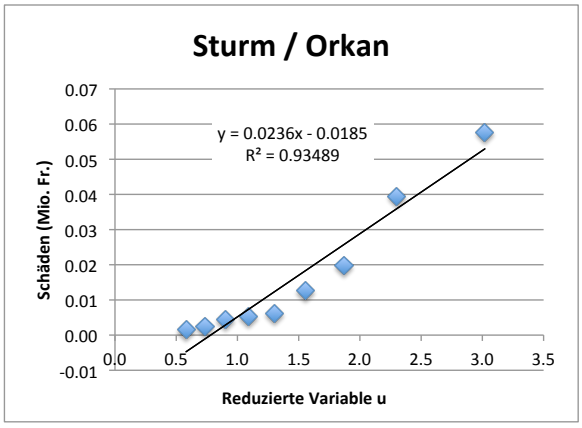
Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre			Einheit : Mio. Fr. Schäden
Rang	F	u	Gewitter / Hagel
100	0.990	4.60	2.5

A8 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Landwirtschaft: schweizerischer Elementarschädenfonds

Einheit : Mio. Fr. Schäden

	Sturm / Orkan
1995	0.00
1996	0.00
1997	0.00
1998	0.00
1999	0.06
2000	0.01
2001	0.02
2002	0.00
2003	0.01
2004	0.00
2005	0.00
2006	0.00
2007	0.00
2008	0.00
2009	0.04
2010	0.00
2011	0.01
2012	0.00
2013	0.00
2014	0.00

Rang	F	u	**Sturm / Orkan**
1	0.048	-1.113	0.000
2	0.095	-0.855	0.000
3	0.143	-0.666	0.000
4	0.190	-0.506	0.000
5	0.238	-0.361	0.000
6	0.286	-0.225	0.000
7	0.333	-0.094	0.000
8	0.381	0.036	0.000
9	0.429	0.166	0.000
10	0.476	0.298	0.000
11	0.524	0.436	0.000
12	0.571	0.581	0.002
13	0.619	0.735	0.003
14	0.667	0.903	0.005
15	0.714	1.089	0.005
16	0.762	1.302	0.006
17	0.810	1.554	0.013
18	0.857	1.870	0.020
19	0.905	2.302	0.040
20	0.952	3.020	0.058



Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Mio. Fr. Schäden

Rang	F	u	**Sturm / Orkan**
100	0.990	4.60	0.09

ANHANG A9

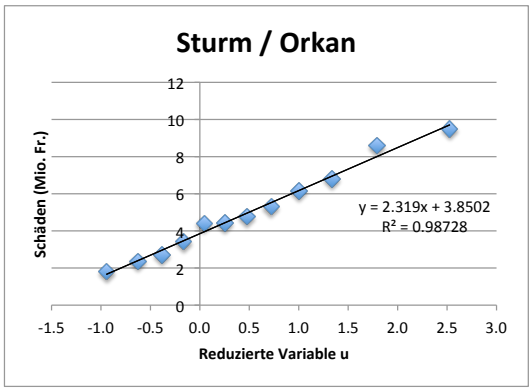
Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

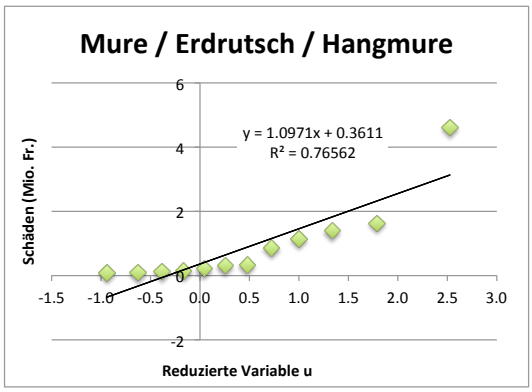
A9 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude: Gebäude

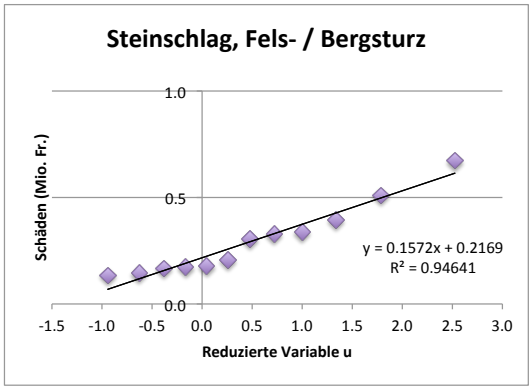
Einheit : Mio. Fr. Schäden

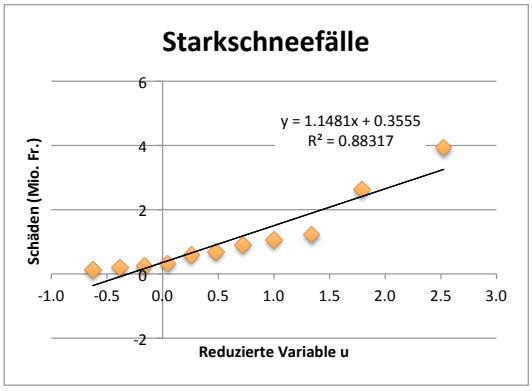
	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
2001	9.482	1.630	0.305	0.902
2002	8.585	4.612	0.673	0.255
2003	4.761	0.333	0.206	1.064
2004	4.431	0.310	0.339	0.593
2005	3.422	0.093	0.174	0.676
2006	6.143	0.862	0.510	2.627
2007	2.365	0.082	0.167	0.034
2008	2.701	1.143	0.328	1.221
2009	5.304	1.403	0.394	3.934
2010	1.811	0.142	0.178	0.330
2011	4.408	0.221	0.145	0.126
2012	6.800	0.130	0.134	0.203

Rang	F	u	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
1	0.077	-0.942	1.811	0.082	0.134	0.034
2	0.154	-0.627	2.365	0.093	0.145	0.126
3	0.231	-0.383	2.701	0.130	0.167	0.203
4	0.308	-0.164	3.422	0.142	0.174	0.255
5	0.385	0.046	4.408	0.221	0.178	0.330
6	0.462	0.257	4.431	0.310	0.206	0.593
7	0.538	0.480	4.761	0.333	0.305	0.676
8	0.615	0.723	5.304	0.862	0.328	0.902
9	0.692	1.000	6.143	1.143	0.339	1.064
10	0.769	1.338	6.800	1.403	0.394	1.221
11	0.846	1.789	8.585	1.630	0.510	2.627
12	0.923	2.525	9.482	4.612	0.673	3.934









Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Mio. Fr. Schäden

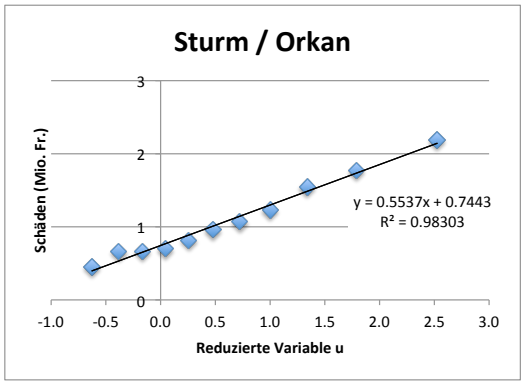
Rang	F	u	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
100	0.990	4.60	15	5.47	0.9	5.6

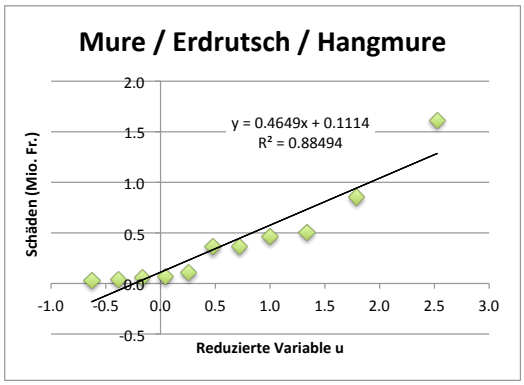
A9 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude: Fahrgüte

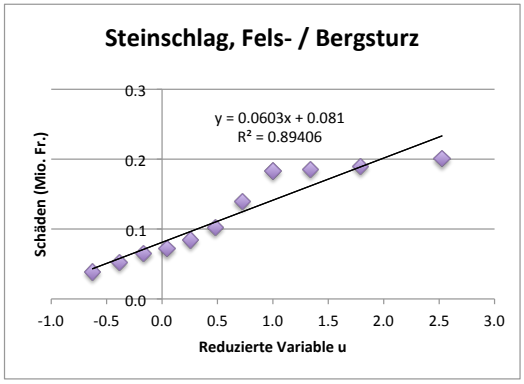
Einheit : Mio. Fr. Schäden

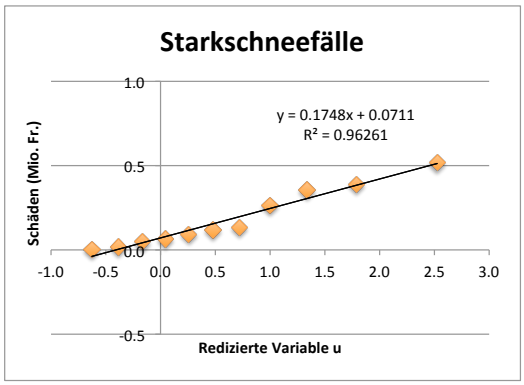
	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
2001	2.188	1.614	0.065	0.065
2002	1.545	0.854	0.200	0.093
2003	0.817	0.069	0.189	0.263
2004	0.664	0.039	0.185	0.119
2005	0.700	0.367	0.084	0.133
2006	1.231	0.108	0.183	0.388
2007	0.448	0.000	0.103	0.002
2008	0.667	0.507	0.139	0.356
2009	0.959	0.463	0.053	0.516
2010	0.425	0.363	0.072	0.018
2011	1.067	0.028	0.039	0.004
2012	1.768	0.060	0.035	0.048

Rang	F	u	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
1	0.077	-0.942	0.425	0.000	0.035	0.002
2	0.154	-0.627	0.448	0.028	0.039	0.004
3	0.231	-0.383	0.664	0.039	0.053	0.018
4	0.308	-0.164	0.667	0.060	0.065	0.048
5	0.385	0.046	0.700	0.069	0.072	0.065
6	0.462	0.257	0.817	0.108	0.084	0.093
7	0.538	0.480	0.959	0.363	0.103	0.119
8	0.615	0.723	1.067	0.367	0.139	0.133
9	0.692	1.000	1.231	0.463	0.183	0.263
10	0.769	1.338	1.545	0.507	0.185	0.356
11	0.846	1.789	1.768	0.854	0.189	0.388
12	0.923	2.525	2.188	1.614	0.200	0.516









Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Mio. Fr. Schäden

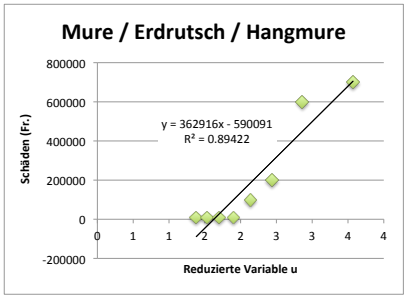
Rang	F	u	Sturm / Orkan	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Starkschneefälle
100	0.990	4.60	3.3	2.3	0.4	0.9

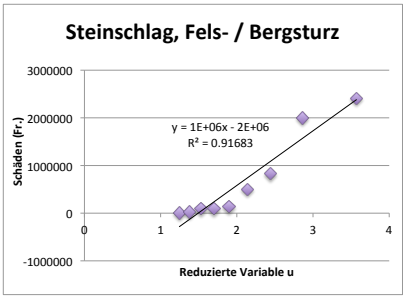
A9 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude: Fahrbahn SBB

Einheit: Fr. Schäden

	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1980	-	-
1981	-	2'000'000
1982	-	-
1983	-	-
1984	-	30'000
1985	-	10'000
1986	-	-
1987	200'000	-
1988	-	-
1989	-	10'000
1990	-	-
1991	-	-
1992	-	-
1993	700'000	-
1994	-	1'000
1995	-	-
1996	100'000	-
1997	-	-
1998	-	10'000
1999	-	10'000
2000	-	10'000
2001	-	-
2002	-	-
2003	10'000	100'000
2004	-	-
2005	-	-
2006	10'000	100'000
2007	-	140'000
2008	10'000	500'000
2009	-	-
2010	-	10'000
2011	-	2'410'000
2012	-	-
2013	600'000	10'000
2014	10'000	830'000

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
1	0.028	-1.276	0	0
2	0.056	-1.061	0	0
3	0.083	-0.910	0	0
4	0.111	-0.787	0	0
5	0.139	-0.680	0	0
6	0.167	-0.583	0	0
7	0.194	-0.493	0	0
8	0.222	-0.408	0	0
9	0.250	-0.327	0	0
10	0.278	-0.248	0	0
11	0.306	-0.170	0	0
12	0.333	-0.094	0	0
13	0.361	-0.018	0	0
14	0.389	0.057	0	0
15	0.417	0.133	0	0
16	0.444	0.210	0	0
17	0.472	0.287	0	0
18	0.500	0.367	0	0
19	0.528	0.448	0	0
20	0.556	0.531	0	1000
21	0.583	0.618	0	10000
22	0.611	0.708	0	10000
23	0.639	0.803	0	10000
24	0.667	0.903	0	10000
25	0.694	1.009	0	10000
26	0.722	1.123	0	10000
27	0.750	1.246	0	10000
28	0.778	1.381	10000	30000
29	0.806	1.531	10000	100000
30	0.833	1.702	10000	100000
31	0.861	1.900	10000	140000
32	0.889	2.139	100000	500000
33	0.917	2.442	200000	830000
34	0.944	2.862	600000	2000000
35	0.972	3.569	700000	2410000





Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit: Fr. Schäden

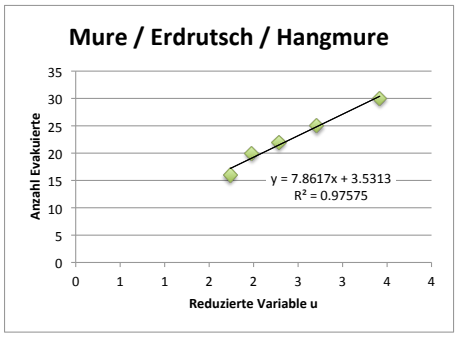
Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Steinschlag, Fels- / Bergsturz
100	0.990	4.60	1.1	2.6

A9 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude: Evakuierte

Einheit: Anzahl Evakuierte

	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1980	-
1981	-
1982	-
1983	-
1984	-
1985	-
1986	-
1987	-
1988	-
1989	-
1990	-
1991	-
1992	-
1993	20
1994	-
1995	-
1996	-
1997	30
1998	-
1999	-
2000	-
2001	-
2002	25
2003	22
2004	-
2005	-
2006	-
2007	-
2008	16
2009	-

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure
1	0.032	-1.234	0
2	0.065	-1.008	0
3	0.097	-0.848	0
4	0.129	-0.717	0
5	0.161	-0.601	0
6	0.194	-0.496	0
7	0.226	-0.397	0
8	0.258	-0.303	0
9	0.290	-0.212	0
10	0.323	-0.123	0
11	0.355	-0.035	0
12	0.387	0.052	0
13	0.419	0.140	0
14	0.452	0.230	0
15	0.484	0.320	0
16	0.516	0.413	0
17	0.548	0.510	0
18	0.581	0.610	0
19	0.613	0.714	0
20	0.645	0.825	0
21	0.677	0.943	0
22	0.710	1.070	0
23	0.742	1.209	0
24	0.774	1.363	0
25	0.806	1.537	0
26	0.839	1.738	16
27	0.871	1.979	20
28	0.903	2.285	22
29	0.935	2.708	25
30	0.968	3.418	30



Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit: Verluste (mio Fr.)

Rang	F	u	Mure / Erdrutsch / Hangmure
100	0.990	4.60	0.4

ANHANG A10

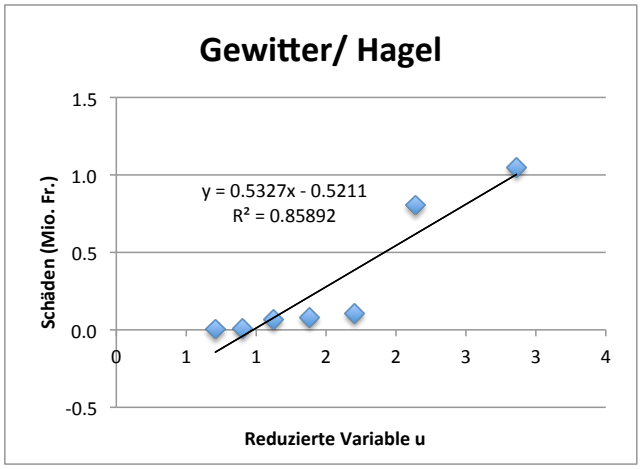
Analyse von Extremereignissen - Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

A10 - Analyse von Extremereignissen Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft: Schäden an Wasserinfrastrukturen

Einheit : Mio. Fr. Schäden

	Gewitter / Hagel
1998	0.81
1999	-
2000	0.08
2001	-
2002	1.05
2003	0.01
2004	-
2005	-
2006	-
2007	-
2008	0.00500
2009	0.10
2010	-
2011	-
2012	0.07
2013	-
2014	-

Rang	F	u	Gewitter / Hagel
1	0.056	-1.061	0.000
2	0.111	-0.787	0.000
3	0.167	-0.583	0.000
4	0.222	-0.408	0.000
5	0.278	-0.248	0.000
6	0.333	-0.094	0.000
7	0.389	0.057	0.000
8	0.444	0.210	0.000
9	0.500	0.367	0.000
10	0.556	0.531	0.000
11	0.611	0.708	0.005
12	0.667	0.903	0.008
13	0.722	1.123	0.065
14	0.778	1.381	0.078
15	0.833	1.702	0.104
16	0.889	2.139	0.805
17	0.944	2.862	1.050



Extremereignis mit Wiederkehrperiode 100 Jahre Einheit : Mio. Fr. Schäden

Rang	F	u	Gewitter / Hagel
100	0.990	4.60	1.9