

Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz

Schlussbericht



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE)

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abteilung Klima
3003 Bern

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Sektion Ländliche Räume und Landschaft
3003 Bern

BAFU und ARE sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Telefon +41 44 395 11 11 / info@ebp.ch / www.ebp.ch

Eidg. Forschungsanstalt WSL
Forschungsgruppe Regionalökonomie und –entwicklung
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
Telefon +41 44 739 21 11 / wslinfo@wsl.ch / www.wsl.ch

WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF
Forschungsgruppe Risikomanagement
Flüelastr. 11
7260 Davos Dorf
Telefon +41 81 417 01 11 / contact@slf.ch / www.slf.ch

Autoren

Niels Holthausen, Sabine Perch-Nielsen, Peter Locher, Peter de Haan van der Weg
(Ernst Basler + Partner)
Marco Pütz (WSL)
Michael Bründl (SLF)

Begleitung

Pamela Köllner-Heck, Thomas Probst, Roland Hohmann, Paul Filliger (BAFU)
Melanie Butterling (ARE)

Juli 2011**Hinweis**

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

Bildnachweis

Titelbild-Fotos v. links n. rechts: Manfred Czybik / Verena N. / berggeist007 / Hermann Eberhardt / Oliver Haja / Kerstin 1970 / piu700 / Rainer Sturm / Georges Bott / Campomalo / brit berlin / berggeist007 / Schemmi / Christin Klein (alle pixelio.de)

Dank

Zum Pilotprojekt „Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz“ haben eine Reihe von Experten durch ihre Auskunftsbereitschaft und ihr kritisches Mitdenken beigetragen, wodurch die Erarbeitung der vorliegenden Inhalte erst ermöglicht wurde. Wir danken allen beteiligten Personen, v.a. den folgenden:

Prof. Dr. med. Charlotte Braun-Fahrländer, Swiss TPH/Universität Basel, Dr. Rudolf Leuthold, Gesundheitsamt Kanton Graubünden, Reto Elmer, LBBZ Plantahof, Prof. Dr. Jürg Fuhrer, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Dr. Peter Brang, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Christian Küchli, Sektion Waldleistungen und Waldqualität, BAFU, Reto Hefti, Amt für Wald Graubünden, Armin Tanner, Amt für Energie und Verkehr Graubünden, Samuel Bontadelli, Rätia Energie, Michael Caflisch, Amt für Wirtschaft und Tourismus, Dr. Bruno Abegg, HTW Chur, Dr. Markus Fischer, Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen, Heinz Dicht, Tiefbauamt Kanton Graubünden, Alfred Kessler, Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Dr. Bruno Schädler, Gruppe Hydrologie, Geographisches Institut der Universität Bern, Dr. Ueli Bühler, Amt für Wald Graubünden, Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey, Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung/ETH Zürich, Dr. Boris Spycher, Amt für Raumentwicklung Graubünden, Melanie Butterling, Sektion Ländliche Räume und Landschaft, ARE.

„Auswirkungsbereichs-Experten“

Dr. Christian Wilhelm, Amt für Wald Graubünden, Arthur Sandri, Sektion Rutschungen, Lawinen und Schutzwald, BAFU, Peter Mani, geo7 AG, Manuel Epprecht, Sektion Hochwasserschutz/BAFU, Dr. Michael Lehning, SLF

„Gefahren/Effekt-Experten“

Dr. Karl Tschanz, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Bernhard Kuhn, Tiefbauamt Zürich (TAZ), sowie die Interviewpartner und Workshop-teilnehmer des Projektes „Anpassung an den Klimawandel im Kontext städtischen Handelns“ vom Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich und Ernst Basler + Partner

Experten zur Fallstudie Zürich

Prof. Richard T. J. Klein, Stockholm Environment Institute, Prof. Dr. Martine Rebetez, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Prof. Dr. Philippe Thalmann, Economics and Environmental Management Laboratory/EPFL, Dr. David Bresch, Swiss Re

Diskussionspartner zur
Methodenentwicklung

Begleitgruppe Dr. Hugo Aschwanden (BAFU), Dr. Mischa Croci-Maspoli (MeteoSchweiz), Daniel Felder (BLW), Dr. Lukas Gutzwiller (BFE), Christian Kuchli (BAFU), Carolin Schärpf (BAFU), Dr. Gian Reto Bezzola (BAFU), Christian Schlatter (BAFU), Martina Wiedemar (BLW), Christoph Werner (BABS), Christian Wirz (ARE), sowie Dr. Peter Greminger (BAFU).

Zusammenfassung

Ausgangslage und Ziel

Als Folge der Klimaänderung werden sich die Rahmenbedingungen für Umwelt, Mensch und Wirtschaft auch in der Schweiz nachhaltig verändern. Daher sind neben den vorrangigen Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen auch Vorbereitungen zur Anpassung an die Klimaänderung bzw. an deren Auswirkungen notwendig. Im vorliegenden Pilotprojekt wird eine Methode entwickelt, mit der die klimabedingten Risiken und Chancen analysiert werden können. Eine solche Analyse soll als Grundlage für die Umsetzung der nationalen Klimaanpassungsstrategie dienen, die derzeit ausgearbeitet wird.

Bedarf nach Analyse
klimabedingter Risiken und
Chancen

Das Pilotprojekt verfolgt folgende Ziele:

- Beschreibung zu allgemeinen Auswirkungen infolge der projizierten klimatischen, aber auch demographischen und wirtschaftlichen Veränderungen.
- Entwicklung einer Methode, um die Risiken und Chancen des Klimawandels zu analysieren und zu bewerten.
- Test der Methode anhand der Fallstudie Gemeinde Davos und Quick-Check für Städte und Siedlungen anhand der Stadt Zürich.

Beschreibung der allgemeinen
Auswirkungen

Entwicklung einer Methode

Methodentest

Methode

Die einzelnen Schritte der entwickelten Methode lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

Schritte

1. Abgrenzung des Untersuchungsperimeters
2. Beschreibung der verwendeten Klimaszenarien und sozioökonomischen Szenarien
3. Identifikation der relevanten klimawandelbedingten Gefahren (Ereignisse) und Effekte (Entwicklungen) über Wirkungen der Klimaänderungen und Beschreibung von Beispielszenarien pro Gefahr oder Effekt
4. Festlegen der für das Untersuchungsgebiet relevanten Auswirkungsbereiche, in denen sich der Klimawandel spürbar manifestiert
5. Definition von Indikatoren, mit denen die Auswirkungen pro Nachhaltigkeitsdimension erfasst werden können
6. Definition von Umrechnungsfaktoren, um verschiedene Indikatorwerte vergleichbar und aggregierbar zu machen (Monetarisierung)
7. Qualitative Bestimmung der Auswirkungen pro Gefahr/Effekt für jeden Auswirkungsbereich
8. Quantitative Abschätzung der (heutigen und künftigen) Auswirkungen klimarelevanter Gefahren und Effekte pro Beispielszenario und der maximal vorstellbaren Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt unter heuti-

Klimaszenarien

Gefahren / Effekte für
Auswirkungsbereiche

Indikatoren und Monetarisierung

Auswirkungen pro Gefahr /
Effekt quantitativ abschätzen

gen und unter veränderten sozioökonomischen und klimatischen Bedingungen.

- | | |
|------------------------------|---|
| | 9. Abschätzung der jährlichen Auswirkungen pro Gefahr und Effekt als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) |
| Modellierung und Aggregation | 10. Berechnung von aggregierten Risiken bzw. Chancen pro Gefahr/Effekt und Jahr (Aggregation über Auswirkungsbereiche) |
| | 11. Möglichkeit zur Berücksichtigung von Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren (Abhängigkeiten von gleichen Klimavariablen, gegenseitige Beeinflussung) |
| | 12. Berücksichtigung von mehreren künftigen Klimazuständen und sozio-ökonomischen und demographischen Zukunftsbildern |
| Ergebnisdarstellung | 13. Darstellung der Ergebnisse |

Methodentest anhand der Fallstudie Gemeinde Davos

Fallstudie Gemeinde Davos

Die Methode wurde in der Fallstudienregion Gemeinde Davos getestet. Dazu wurden die Auswirkungen von klimabeeinflussten Gefahren und Effekten auf die einzelnen Auswirkungsbereiche in der Fallstudienregion mit ausgewählten Experten diskutiert. Als Ergebnis werden zum einen pro Auswirkungsbereich die relevanten Indikatoren und Gefahren/Effekte für die Fallstudienregion und für die ganze Schweiz festgehalten. Zum anderen werden die wesentlichen Auswirkungen der erwarteten Klimaänderungen auf die einzelnen Auswirkungsbereiche qualitativ dargestellt.

Herausforderungen

Eine Herausforderung stellten die beabsichtigten quantitativen Schätzungen der Auswirkungen pro Beispielszenario dar. Vielfach war eine solche Einschätzung nicht spontan möglich, zudem war der Umfang der notwendigen Schätzungen aufgrund vieler relevanter Gefahren/Effekte oft sehr gross. Es war aber durch Anpassung des Fokus der Interviews möglich, die für den jeweiligen Auswirkungsbereich relevanten Gefahren und Effekte zu identifizieren, die relevanten Indikatoren zu bestimmen und zu diskutieren, wie und auf Grundlage welcher Daten eine Abschätzung der Auswirkungen pro gefahr- oder effektspezifischem Beispielszenario vorgenommen werden könnte.

Exemplarische quantitative Analysen und Modellierung

Eine exemplarische quantitative Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen wurde für die Auswirkungen von Lawinen auf den Auswirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen und für die mögliche Auswirkung einer Zunahme der Durchschnittstemperatur auf den Tourismus in Davos vorgenommen. Mit diesen Daten wurde auch die Modellierung und Aggregation der Risiken mithilfe einer Monte-Carlo-Simulation getestet und deren Anwendung demonstriert. Die Ergebnisse werden in einer Verteilung der zu erwartenden, monetarisierten Auswirkungen dargestellt.

Methodentest für Städte und Siedlungen am Beispiel der Stadt Zürich

Städte und Siedlungen weisen im Vergleich zum ländlichen Raum verschiedene Besonderheiten auf, die im Zusammenhang mit klimabedingten Risiken und Chancen von Bedeutung sein können. Daher wurde die entwickelte Methode – begleitet und kofinanziert durch das Bundesamt für Raumentwicklung – auch im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit in Stadtregionen am Beispiel der Stadt Zürich in folgenden Schritten getestet:

Methodentest Zürich mit Unterstützung durch das ARE

- Qualitative Methodenprüfung zur Beurteilung der Eignung der vorgeschlagenen Methode für die Anwendung in Städten und Siedlungen generell (Literaturstudie und kleiner Workshop mit Vertretern der Stadtverwaltung)
- Qualitative Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Zürich
- Test der Abschätzbarkeit der Risiken durch exemplarische Abschätzung wesentlicher klimabedingter Auswirkungen für die Stadt Zürich (Auswirkungen von Hochwassern auf Gebäude und Infrastrukturen und von Hitzewellen auf die Gesundheit)
- Beurteilung der Eignung der Methode zur Anwendung für Städte und Siedlungen

Vorgehensschritte

Im Rahmen des Methodentests wurden keine prinzipiellen Einschränkungen der Anwendbarkeit der Methode in Städten und Siedlungen festgestellt. Die allgemeinen Herausforderungen für eine quantitative Klimarisikokoanalyse mit der vorliegenden Methode bestehen auch bei Anwendungen in Städten und Siedlungen, teilweise mit leicht anderen Schwerpunkten. Eine Herausforderung stellt z.B. die sinnvolle räumliche Abgrenzung des Untersuchungsperimeters dar, da zwischen Städten und ihrem Umland starke Interaktionen vorhanden sein können. Zudem besteht möglicherweise eine besondere Sensitivität hinsichtlich der Definition von Beispielszenarien klimabedingter Gefahren.

Beurteilung der Eignung

Eine Besonderheit der Anwendung der Methode in Städten und Siedlungen ist, dass sich das Spektrum der relevanten Wirkungsbereiche und Gefahren/Effekte aufgrund der homogenen Landnutzungsform im Vergleich mit grösseren und weniger homogenen Untersuchungsperimetern reduziert.

Besonderheiten einer Anwendung in Städten

Die genannten Herausforderungen der starken Interaktion mit dem Umland und der möglicherweise besonderen Sensitivität hinsichtlich der Beispielszenarien sollten näher analysiert werden. Dies könnte im Rahmen einer ersten vollständigen Durchführung einer umfassenden Analyse zu den Auswirkungen der Klimaänderung in einer Stadt oder Siedlung erfolgen. Eine erste vollständige Durchführung hätte in Städten den Vorteil, dass das relevante Spektrum an zu analysierenden Wirkungsbereichen

Empfehlungen

und Gefahren/Effekten weniger umfangreich ist, als in grösseren räumlichen Einheiten.

Entwicklung von
ortsunabhängigen Teilmodellen

Verschiedene Auswirkungen der Klimaänderung manifestieren sich in den Schweizer Städten sehr ähnlich (z.B. Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit). Im Sinne der methodischen Einheitlichkeit und des Vermeidens von Doppelspurigkeiten ist es deshalb zweckmässig, Teilmodelle zu entwickeln, in denen solche Zusammenhänge zusammen mit den notwendigen Annahmen unabhängig vom konkreten Anwendungsfall quantitativ aufgearbeitet werden. Eine Entwicklung von solchen Teilmodellen könnte in eine vollständige Anwendung der Methode in einer Stadt integriert werden.

Erkenntnisse für die Anwendung und Empfehlungen

Spezifikationen je nach
Anwendungszusammenhang
notwendig

Der entwickelte methodische Ansatz berücksichtigt wichtige Grundprinzipien für die quantitative Analyse klimabedingter Risiken und Chancen, so dass er in der Schweiz für unterschiedliche Analyseeinheiten einheitlich angewendet werden kann. Die spezifische Ausgestaltung des methodischen Ansatzes ist jedoch von den jeweiligen Rahmenbedingungen abhängig, vor allem von:

- Räumlicher Grösse der analysierten Fallstudie und Einheitlichkeit in Bezug auf die Parameter, welche die klimabedingten Gefahren/Effekten bzw. Risiken und Chancen massgeblich bestimmen,
- Zeitraum der Betrachtung (ein oder mehrere Zeitpunkte, Aggregation über die Zeit etc.),
- Betrachteten Wirkungsbereichen und klimabedingten Gefahren/Effekten,
- Verwendung der Ergebnisse.

Quantifizierbarkeit

Die Quantifizierbarkeit von Auswirkungen des Klimawandels hängt wesentlich von den verfügbaren Datengrundlagen und dem verfügbaren Expertenwissen, aber auch von den verfügbaren zeitlichen und finanziellen Ressourcen ab. Generell ist eine solche Betrachtung aber mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Beispielsweise ist unklar, ob und in welchem Mass der Sommertourismus in einer bestimmten Bergregion von steigenden Temperaturen profitiert. Je nach Anwendungszusammenhang sollte daher geprüft werden, inwieweit eine quantitative Betrachtung erforderlich und der dafür erforderliche Aufwand gerechtfertigt ist.

Unsicherheiten über
Veränderung der Jährlichkeiten

Ein Bereich erheblicher Unsicherheiten bei der Quantifizierung stellt die Abschätzung der Veränderung der Jährlichkeiten von Ereignissen dar. Hier liegen wenig wissenschaftliche Erkenntnisse für eine Abschätzung vor und es muss auf Expertenschätzungen zurückgegriffen werden.

Auswahl von Klimaszenarien und
sozioökonomischen Szenarien

Die Ergebnisse einer Analyse klimabedingter Risiken und Chancen hängen stark von den verwendeten Szenarien bezüglich der Klimaentwicklung und

der Entwicklung von sozioökonomischen und demographischen Rahmenbedingungen ab. Aus diesem Grund hat die Auswahl von geeigneten Szenarien und die Berücksichtigung der darin getroffenen Annahmen bei der Interpretation der Ergebnisse eine hohe Bedeutung.

Für das weitere Vorgehen kommen die drei folgenden, unterschiedlichen Ansätze in Frage, die jedoch alle auf Basis der vorliegenden Methodik erarbeitet werden können:

Mögliches Vorgehen einer nationalen Analyse

- Aufgrund der grossen inhaltlichen Breite einer nationalen Klimarisikanalyse erscheint ein mehrstufiges Vorgehen sinnvoll. Die Risiken und Chancen pro Auswirkungsbereich werden in einem ersten Schritt für die relevanten Gefahren bzw. Effekte schweizweit quantitativ abgeschätzt mit dem Ziel, deren Stellenwert für die Schweiz als Ganzes fassbar zu machen. Die besonders relevanten Risiken bzw. Chancen können dann in einem zweiten Schritt vertieft analysiert werden, wobei hier eine geeignete räumliche Gliederung vorgenommen werden kann, wenn differenziertere Aussagen notwendig sind.
- Alternativ könnten regionale Fallstudien für verschiedene Raumtypen erarbeitet werden und von diesen auf die Schweiz hochgerechnet werden.
- Als weitere Möglichkeit könnten in sektoriellen Analysen pro Auswirkungsbereich die Risiken und Chancen für die ganze Schweiz bestimmt und anschliessend zu einer umfassenden Sicht zusammengeführt werden.

Als vorteilhaft bei einer nationalen Analyse ist die Datenverfügbarkeit zu beurteilen, da hier stärker als bei lokalen oder kleineren regionalen Analysen auf aggregierte Statistiken und andere Daten zurückgegriffen werden kann.

Bessere Datenverfügbarkeit bei nationaler Analyse

Schliesslich ist bei einer solchen nationalen Klimarisikanalyse zu berücksichtigen, mit welchen systemimmanenten Unsicherheiten eine solche Analyse verbunden ist. Dies ist nicht methodenspezifisch und damit sollen die Ergebnisse nicht in Frage gestellt werden, sondern es verdeutlicht die Notwendigkeit, die Robustheit der Ergebnisse bezüglich einer Variation der Annahmen zu testen, sowie die notwendige Vorsicht in der Interpretation der Ergebnisse.

Angemessene Berücksichtigung der systemimmanenten Unsicherheiten

Parallel zur beabsichtigten nationalen Klimarisikanalyse kann mit der vorliegenden Methode auch die Analyse klimabedingter Risiken und Chancen für Kantone, Städte oder andere regionale oder auch sektorische Fallstudien durchgeführt werden.

Anwendung z.B. für Kantone oder Städte

Bei Interesse z.B. von Kantonen oder Städten an der Durchführung von Klimarisikanalysen könnte ein Leitfaden für ein einheitliches Vorgehen entwickelt werden, vergleichbar z.B. zum Leitfaden KATAPLAN für kantonale Gefährdungsanalysen aus Sicht des Bevölkerungsschutzes (BABS 2008b). Im Rahmen eines solchen Leitfadens könnte auch die oben ge-

Definition und Spezifizierung von Standard-Anwendungen

nannte Entwicklung von Teilmodellen zur einheitlichen Abschätzung der Risiken von Auswirkungen bestimmter Gefahren auf einen bestimmten Wirkungsbereich erfolgen.

Inhaltsverzeichnis

Dank	I
Zusammenfassung	III
1 Einleitung	1
1.1 Bedarf einer Klimarisikoanalyse.....	1
1.2 Ziele des Pilotprojektes	1
1.3 Herausforderungen	2
2 Allgemeine Auswirkungen des Klimawandels.....	5
2.1 Klimaszenarien	5
2.2 Gefahren und Effekte	6
2.3 Auswirkungsbereiche	8
2.4 Allgemeine Auswirkungen pro Auswirkungsbereich	11
2.4.1 Gesundheit	11
2.4.2 Landwirtschaft	13
2.4.3 Wald.....	14
2.4.4 Energie	15
2.4.5 Tourismus	16
2.4.6 Infrastrukturen und Gebäude.....	17
2.4.7 Siedlungswasserwirtschaft	18
2.4.8 Biodiversität	19
3 Methode zur Analyse von Klimarisiken.....	21
3.1 Ausgangslage	21
3.1.1 Methodische Herausforderungen	21
3.1.2 Vorliegende Analysen für die Schweiz	22
3.2 Grundzüge der Methode.....	23
3.3 Zentrale methodische Aspekte.....	25
3.3.1 Indikatoren	25
3.3.2 Monetarisierung.....	27
3.3.3 Jährliche Auswirkungen.....	28
3.3.4 Jährliche Variabilität und Aggregation.....	29
3.3.5 Vorgehen mithilfe von Beispielszenarien für Gefahren und Effekte.....	31
3.3.6 Repräsentative Standard-Verhältnisse für Indikatoren und Auswirkungsbereiche	34
3.3.7 Sensitivitätsanalysen	36
3.4 Datenerfassung: Einbezug Expertenwissen.....	36
3.4.1 Erforderliches Expertenwissen	36
3.4.2 Auswirkungsbereichs-Experten: Verteilschlüssel I	37
3.4.3 Gefahren-/Effekt-Experten: Verteilschlüssel A	38
3.4.4 Wege der Datenerfassung	39

3.5	Auswertungen und Ergebnisdarstellung	39
4	Pilotanwendung: Fallstudie Davos	43
4.1	Beschreibung der Fallstudienregion	43
4.2	Pilotanwendung	45
4.2.1	Vorgehen	45
4.2.2	Erfahrungen	46
4.3	Ergebnisse	47
4.3.1	Auswirkungsbereichsbezogene Detailergebnisse	47
4.3.2	Exemplarische Abschätzungen des Ausmasses von Beispielszenarien für je einen Wirkungsbereich ...	48
4.4	Exemplarische Modellierung der Risiken und Chancen	53
5	Methodentest für Städte und Siedlungen am Beispiel der Stadt Zürich	59
5.1	Ausgangslage und Vorgehen	59
5.1.1	Besonderheiten der Analyse in Städten und Siedlungen	59
5.1.2	Methodentest für Stadtregion am Beispiel der Stadt Zürich	59
5.2	Qualitativer Methodentest zur Anwendbarkeit der Methode in Städten und Siedlungen	60
5.3	Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Zürich	61
5.3.1	Qualitative Analyse der allgemeinen Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Stadt Zürich	61
5.3.2	Auswirkungen von Hochwasser auf Gebäude und Infrastrukturen	61
5.3.3	Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit .	64
5.3.4	Fazit aus den exemplarischen Abschätzungen	67
5.3.5	Beurteilung der Eignung der Methode für Städte und Siedlungen	68
5.3.6	Besonderheiten von Klimarisikoplanungen in Städten und Siedlungen	69
5.3.7	Empfehlungen	70
6	Diskussion und Schlussfolgerungen	71
6.1	Möglichkeiten und Grenzen einer einheitlich anwendbaren Methode	71
6.1.1	Einheitliches Grundgerüst – Spezifikationen bei Anwendung	71
6.1.2	Ansatzpunkte für Weiterentwicklungen	72
6.2	Erkenntnisse für die Anwendung	73
6.2.1	Quantifizierbarkeit von Auswirkungen	73
6.2.2	Szenarien	74
6.3	Schlussfolgerungen für eine Klimarisikoplanung Schweiz	75
6.3.1	Mögliche Vorgehensweisen zur nationalen Klimarisikoplanung	75

6.3.2	Schlussfolgerungen für eine nationale Klimarisikoanalyse	77
7	Literatur	79

Anhänge

- A1 Indikatoren
- A2 Monetarisierungs-Ansätze
- A3 Gefahren/Effekte und Beispielszenarien
- A4 Ergebnisse der Fallstudie Davos
- A5 Detaillierte Ergebnisse des Methodentests Stadt Zürich

1 Einleitung

1.1 Bedarf einer Klimarisikoanalyse

Die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse (z.B. IPCC 2007) und auch die bisherigen internationalen klimapolitischen Entwicklungen zeigen, dass die anthropogene Klimaänderung nicht mehr verhindert, sondern nur noch in ihrem Ausmass beeinflusst werden kann. Auch in der Schweiz werden sich als Folge der Klimaänderung die Rahmenbedingungen für Umwelt, Mensch und Wirtschaft nachhaltig verändern. Trotz der vordringlichen Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ist deshalb auch eine Vorbereitung zur Anpassung an die Klimaänderung bzw. an deren Auswirkungen notwendig. Derzeit entwickelt das Bundesamt für Umwelt in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen Departementen und Bundesämtern eine nationale Anpassungsstrategie. Als Grundlage für die Umsetzung der nationalen Klimaanpassungsstrategie soll eine Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen dienen. Im Rahmen dieses Pilotprojekts wird eine Methode entwickelt, um eine solche Risikoanalyse vornehmen zu können.

Anpassung an Klimaänderung wird notwendig

Entwicklung einer Anpassungsstrategie

Klimarisikoanalyse als Grundlage

Mit dieser Methode sollen schweizweit die wichtigsten klimabedingten Risiken (und Chancen) identifiziert, einheitlich bewertet und sektorübergreifend verglichen werden können. Die Methodenentwicklung soll die Basis bilden, um in weiteren Schritten die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz zu analysieren und auf dieser Grundlage die prioritären Handlungsfelder bei der Anpassung an die Klimaänderung festzulegen sowie Massnahmen zu planen. Die Methodenentwicklung im Rahmen dieser Pilotstudie ist also der erste Schritt hin zu einer solchen Klimarisikoanalyse Schweiz.

Identifizierung, Bewertung und sektorübergreifender Vergleich

Erster Schritt hin zu einer Klimarisikoanalyse Schweiz

1.2 Ziele des Pilotprojektes

Das Pilotprojekt verfolgt folgende Ziele:

- Beschreibung der aufgrund der projizierten klimatischen, aber auch demographischen und wirtschaftlichen Veränderungen zu erwartenden wichtigsten Auswirkungen.
- Entwicklung einer Methode, um die Risiken und Chancen zu analysieren und zu bewerten.

Beschreibung der allgemeinen Auswirkungen

Entwicklung einer Methode

Pilotanwendung der Methode in Fallstudie	<ul style="list-style-type: none">• Bewertung der Risiken und Chancen in der Fallstudie unter heutigen und zukünftigen (2050) klimatischen Randbedingungen anhand der entwickelten Methode.
Test auf Übertragbarkeit auf städtische Regionen	<ul style="list-style-type: none">• Neben der eigentlichen Fallstudie ist auch eine Prüfung der Übertragbarkeit auf urbane Regionen am Beispiel der Stadt Zürich Gegenstand des Pilotprojektes.

1.3 Herausforderungen

Besondere Herausforderungen	Besondere Herausforderungen der Methodenentwicklung bestehen im Zusammenhang mit folgenden Ansprüchen an die Methode:
Konsistente und einheitliche Methode	<ul style="list-style-type: none">• Die Risiken und Chancen sollen anhand einer konsistenten und einheitlichen Methode auf integrale Weise bearbeitet werden, d.h. über alle betroffenen Politikbereiche und unter Einbezug wesentlicher Interdependenzen.
Ganzheitliche Betrachtung aller Risiken und Chancen	<ul style="list-style-type: none">• Sie soll eine ganzheitliche Betrachtung der Risiken ermöglichen und in der Lage sein, das Spektrum der Risiken und Chancen möglichst umfassend abzudecken.
Voraussetzungen für Kosten-Nutzen-Analysen schaffen	<ul style="list-style-type: none">• Sie ermöglicht die Analyse und Bewertung der Risiken und Chancen auf einem Detaillierungsgrad, der es zu einem späteren Zeitpunkt auch erlaubt, Klimaanpassungsmassnahmen zu bewerten (Kosten-Nutzen Analysen).
Quantitative Betrachtung, schwer bewertbare Risiken und Chancen, Monetarisierung	<ul style="list-style-type: none">• Sie ermöglicht das Bestimmen quantifizierbarer Risiken und Chancen wie auch den Einbezug schwer bewertbarer Risiken und Chancen („non-market risks“, z.B. Biodiversität). Es werden nach Möglichkeit Vorschläge zur Monetarisierung gemacht.
Komplexität und Unsicherheiten	<ul style="list-style-type: none">• Sie ist in der Lage, mit komplexen Zusammenhängen und Unsicherheiten umzugehen.
Definition von Strukturierungsgrössen	<ul style="list-style-type: none">• Die für eine einheitliche Bewertung der Risiken bzw. Chancen notwendigen „Strukturierungsgrössen“ (Indikatoren, Kenngrössen zur Aggregation von Schäden für verschiedenen Indikatoren, Auswirkungsbereiche) werden möglichst eindeutig festgelegt.
Genauigkeit vs. Umfang	<ul style="list-style-type: none">• Quantitative Aussagen zur Höhe der Risiken bzw. zum Stellenwert von Chancen sollen möglich sein, wobei die Vielzahl an Einflussgrössen sowie die oftmals grossen Unsicherheiten in den klimatischen und sozio-ökonomischen Entwicklungen der Genauigkeit der erwarteten Ergebnisse enge Grenzen setzen.
Flexibilität bezüglich Grösse des Untersuchungsraums	<ul style="list-style-type: none">• Die Methodik soll so flexibel ausgestaltet werden, dass sie auf unterschiedlich grosse Regionen (einzelne Gemeinden, Kantone oder allen-

falls die Schweiz als Ganzes), die hinsichtlich der massgeblichen Einflussgrössen heterogen sein können, anwendbar ist.

- Anpassungen an die Klimaänderungen dürften sich in Zukunft in Form einer Vielzahl von örtlich unterschiedlichen, zeitlich gestaffelten Massnahmen manifestieren, die zudem stark von sozioökonomischen Trends beeinflusst werden (z.B. in den Bereichen Landwirtschaft und Tourismus). Mögliche Anpassungsmassnahmen sollen bewusst bei der Abschätzung der klimabedingten Risiken ausgeblendet werden, selbst wenn sie aus heutiger Sicht „auf der Hand liegen“. Bestehende Massnahmen sollen jedoch in gewissem Rahmen intensiver genutzt werden können. Am Beispiel der Bewässerung in der Landwirtschaft kann diese Abgrenzung wie folgt verdeutlicht werden: Eine intensivere Nutzung bestehender Bewässerungseinrichtungen kann berücksichtigt werden, während eine neue Installation von Bewässerungseinrichtungen nicht berücksichtigt werden soll, auch wenn die Landwirte diese bei zunehmender Trockenheit voraussichtlich vornehmen werden. Die auszuweisenden Risiken stellen somit ein theoretisches Konstrukt dar, um für einen fiktiven, in die Zukunft projizierten Zustand den Bedarf nach Anpassungsmassnahmen fassbar zu machen.
- Obwohl die Auswahl der betrachteten Risiken und Chancen aus Sicht der erwarteten Klimaveränderungen vorgenommen wird, sollen auch die Auswirkungen der erwarteten, zeitlich parallel laufenden sozioökonomischen und demographischen Entwicklungen bewertet werden. Damit soll eine Aussage möglich sein, wie weit einzelne Risiken bzw. Chancen primär durch Klimaveränderungen beeinflusst werden bzw. in welchen Bereichen andere Entwicklungen, die teilweise noch schwerer vorhersehbar sind als klimatische Veränderungen, von noch grösserer Bedeutung sind. Diese wichtige Perspektive erhöht die inhaltliche Komplexität nochmals.

Ausblenden autonomer
Anpassung

Einordnung Klimaänderung im
Vergleich zu sozioökonomischen
und demographischen
Veränderungen erhöht
Komplexität

2 Allgemeine Auswirkungen des Klimawandels

Dieses Kapitel beschreibt qualitativ die erwarteten Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Schweiz im Jahr 2050. Es fasst den gegenwärtigen Kenntnisstand¹⁾ als Grundlage für die weiteren Arbeiten kurz zusammen.

2.1 Klimaszenarien

Die Informationen in diesem Kapitel basieren grösstenteils auf dem Bericht „Klimaänderung und die Schweiz 2050“ des beratenden Organs für Fragen der Klimaänderung (OcCC 2007), der von über 100 Fachpersonen erarbeitet wurde. Als Grundlage für diesen Bericht wurden die Auswirkungen verschiedener CO₂-Emissionsszenarien in Bezug auf die massgeblichen Klimaparameter mit Hilfe von Klimamodellen ermittelt. Das massgebliche Ergebnis dieser Analysen für das vorliegende Pilotprojekt sind die erwarteten Veränderungen der mittleren Temperatur sowie der mittleren Niederschlagsmenge zwischen 1990 und 2050 gegliedert nach Jahreszeit für die Alpennord- und Alpensüdseite. Diese Basisdaten stecken für das vorliegende Pilotprojekt den Rahmen der erwarteten Klimaveränderungen ab und werden deshalb nachfolgend als „Klimaszenarien“ bezeichnet. Sie sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

Verwendung bestehender Szenarien

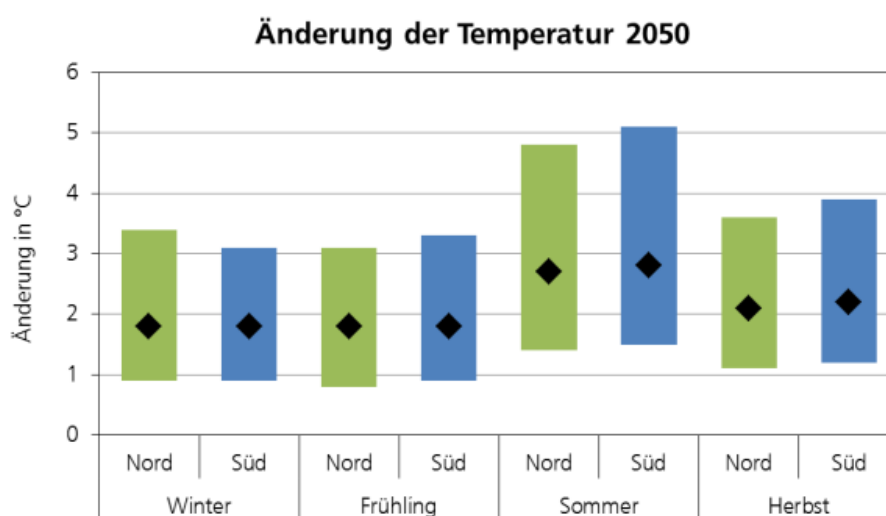
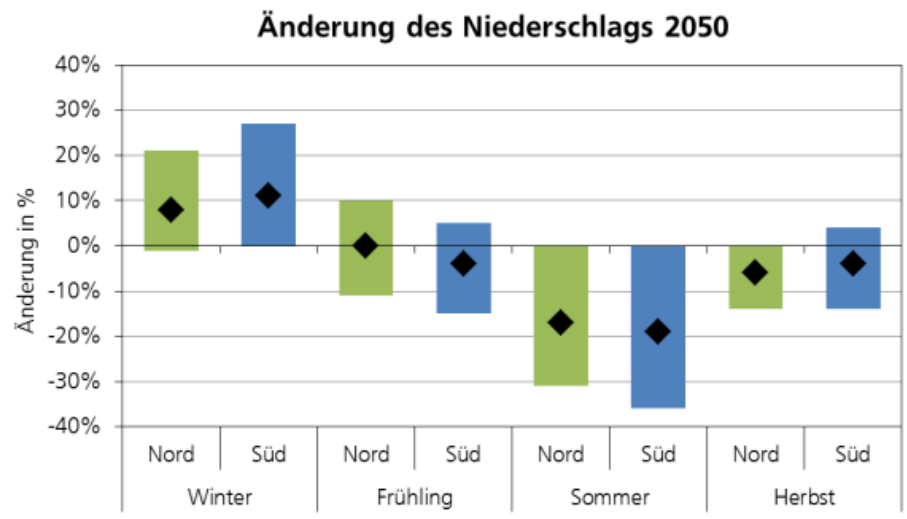


Abbildung 1:
Änderung der mittleren Temperatur im Jahr 2050 gegenüber 1990. Die Balken zeigen das 95% Konfidenzintervall, die Rhomben die mittlere Schätzung (OcCC 2007).

1) Derzeit sind neue Klimaszenarien für die Schweiz in Erarbeitung, sie liegen jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor.

Abbildung 2:
Änderung des mittleren
Niederschlags im Jahr 2050
gegenüber 1990. Die Balken
zeigen das 95%
Konfidenzintervall, die Rhomben
die mittlere Schätzung
(OcCC 2007).



Annahmen zu Temperatur und
Niederschlag von 2007

Für die Analyse der Auswirkungen wurde im Jahr 2007 von einer Zunahme der Temperatur zwischen 1990 und 2050 um rund zwei Grad von Herbst bis Frühling und um rund drei Grad im Sommer ausgegangen. Bei den Niederschlägen wurde im Winter mit einer Zunahme von rund 10%, im Sommer mit einer Abnahme von 15-20% gerechnet. Im Frühling und Herbst wurde die Tendenz zu einer Abnahme festgestellt, die Resultate waren jedoch nicht eindeutig.

Anpassung aufgrund neuerer
Erkenntnisse

In der Zwischenzeit liegen Zwischenergebnisse der nächsten Generation von Klimamodellen vor. Sie bestätigen die Abnahme der Niederschläge im Sommer, zeigen jedoch hinsichtlich des Niederschlags im Winter weniger klare Signale als die frühere Modellgeneration. Die Beschreibung der erwarteten Auswirkungen in diesem Kapitel wurde entsprechend dieser neuen Erkenntnis angepasst.

2.2 Gefahren und Effekte

Unterschiedliche Auswirkungen
der Klimaänderungen

Die Klimaänderungen werden sich in unterschiedliche Weise auf die Schweiz auswirken. Zum Teil handelt es sich dabei um schleichende Entwicklungen, wie die Zunahme der Durchschnittstemperaturen oder die Veränderung der mittleren Niederschlagsmengen (im Folgenden als „Effekte“ bezeichnet). Zum Teil werden aber auch die Häufigkeit und Intensität bekannter Naturgefahren beeinflusst, die Ereignischarakter haben (im Folgenden als „Gefahren“ bezeichnet). Um systematisch die Auswirkungen aller klimabedingten Gefahren und Effekte analysieren zu können, wird daher zunächst diesbezüglich eine Übersicht erstellt.

Klimavariablen, Extreme und
Mittel

Zur Identifikation der relevanten klimabedingten Gefahren und Effekte wird von den wesentlichen Klimavariablen Temperatur, Niederschlag und

Wind ausgegangen. Im nächsten Schritt wird bestimmt, in welcher Form sich diese auf Mensch, Wirtschaft oder Umwelt auswirken (z.B. Niederschlag – Intensivniederschlag – Unwetter). Dabei werden für Niederschlag und Temperatur jeweils Veränderungen in den Extremen und im Mittel berücksichtigt (in Bezug auf Wind sind nur Extremwerte massgeblich).

Für die wesentlichen Änderungen im Klima können so die massgeblichen Gefahren und Effekte formuliert werden. Dies geschieht unabhängig davon, ob infolge der Klimaveränderung eine Erhöhung oder Verminderung der Gefahren bzw. eine Verstärkung oder Abschwächung der Effekte zu erwarten ist, und unabhängig von den derzeitigen Möglichkeiten, diese zu prognostizieren. Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die identifizierten Gefahren und Effekte, wobei jeweils die Zeitdauer dargestellt ist, während der diese wirken. Diese wurden mit einer Reihe von anderen Studien abgeglichen, um ein möglichst vollständiges und mit anderen Studien vergleichbares Set an Gefahren und Effekten zu erhalten (vgl. Anhang A3).

Übersicht Gefahren und Effekte

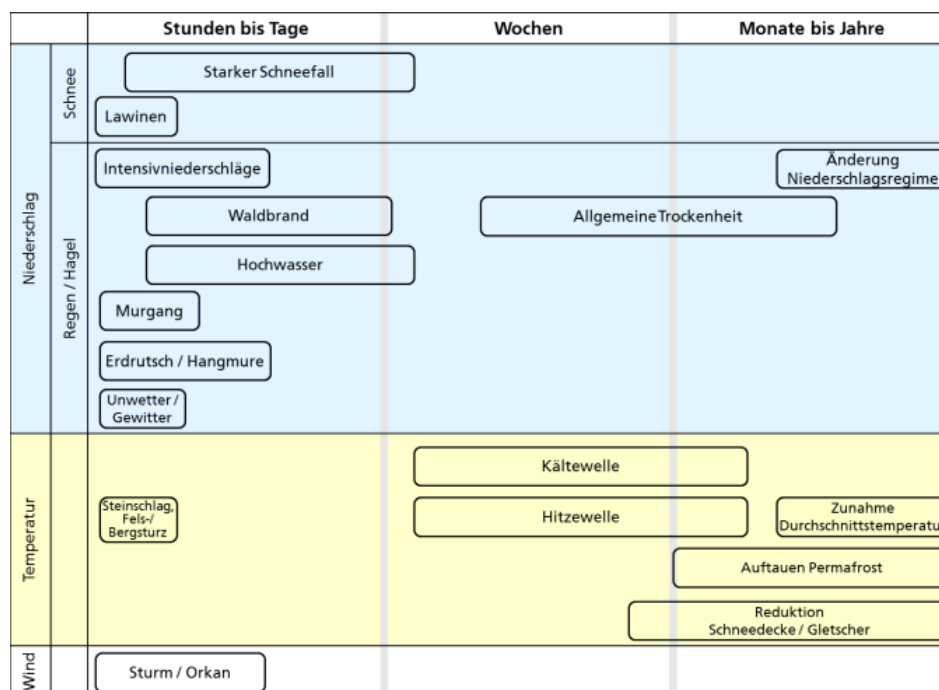


Abbildung 3
Darstellung klimabeeinflusster Gefahren und Effekte nach dem Zeitraum ihres Auftretens

Das Auftreten verschiedener dieser Gefahren und Effekte ist nicht unabhängig voneinander. Korrelationen zwischen den Auswirkungen der Gefahren können mithilfe von Plausibilitätsanalysen identifiziert werden. Beispielsweise gibt es eine positive Korrelation zwischen Hitzewellen und Waldbränden, da letztere zumindest während längeren Hitzewellen mit typischerweise unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen gehäuft auftreten.

Korrelationen

2.3 Auswirkungenbereiche

Auswirkungsbereiche für
klimabedingte Risiken und
Chancen,
Sektoren für Anpassung

Zur Beschreibung der Risiken und Chancen werden neun so genannte Auswirkungsbereiche festgelegt. Diese sind von den Sektoren zu unterscheiden, in welchen derzeit auf nationaler Ebene sektorale Teilstrategien zur Anpassung an die Klimaänderung erarbeitet werden. Während sich Klimaveränderungen in Auswirkungsbereichen manifestieren, bezeichnen diese Sektoren Politikbereiche oder Handlungsfelder, in denen Zuständigkeiten für Anpassungsmassnahmen liegen. Folgende Sektoren werden im Rahmen der nationalen Anpassungsstrategie berücksichtigt: Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Umgang mit Naturgefahren, Raumentwicklung, Wasserwirtschaft, Biodiversitätsmanagement.

Die für die Analysen der Klimarisiken vorzuschlagenden Auswirkungsbereiche sollten sich möglichst an diesen Sektoren orientieren. Allerdings können die Sektoren für Anpassung in verschiedenen Auswirkungsbereichen zuständig sein (z.B. zielen Anpassungsmassnahmen im Sektor „Raumentwicklung“ u.a. auf die Auswirkungsbereiche „Infrastrukturen und Gebäude“ und „Tourismus“ ab und Massnahmen in der „Wasserwirtschaft“ zielen u.a. auf Auswirkungsbereiche wie „Landwirtschaft“ und „Energie“ ab). Genauso können die Auswirkungen in einem Auswirkungsbereich für mehrere Sektoren relevant sein (z.B. Auswirkungen auf „Infrastrukturen und Gebäude“ betreffen die Sektoren „Umgang mit Naturgefahren“, „Raumentwicklung“ etc.). Aus diesem Grund wurden die in Tabelle 1 dargestellten, etwas von der Abgrenzung der Sektoren abweichenden Auswirkungsbereiche festgelegt.

Tabelle 1:
Definition und Abgrenzung der
untersuchten
Auswirkungsbereiche

Auswirkungsbereiche	Abgrenzung
Gesundheit	<ul style="list-style-type: none">• Physische und psychische Gesundheit der Bevölkerung• Kosten im Zusammenhang mit Behandlung und Pflege• Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none">• Landwirtschaftliche Produktion• Landwirtschaftliche Flächen• Landwirtschaftliche Betriebe
Wald	<ul style="list-style-type: none">• Forstliche Produktion• Waldflächen• Waldeigentümer und Forstbetriebe <p>Arten- und Lebensraumvielfalt werden im Auswirkungsbereich Biodiversität berücksichtigt.</p>
Energie	<ul style="list-style-type: none">• Energieproduktion• Infrastrukturen der Energiewirtschaft (ausser Leitungsnetze → unter Gebäude und Infrastrukturen berücksichtigt)
Tourismus	<ul style="list-style-type: none">• Touristischer Transport (z.B. Bergbahnen)• Unterkunft (Hotellerie, Parahotellerie)• Dienstleistungen (z.B. Gastronomie, Freizeit- und Sportanlagen)

	Gebäude und Infrastrukturen dieser Bereiche werden im Auswirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen berücksichtigt.
Infrastrukturen und Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> • Versorgungsinfrastrukturen (z.B. Stromleitungen, Gas- und Fernwärmeleitungen, Wasserleitungen ausserhalb Siedlungsgebiet) • Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Strassennetz, Schienennetz) • Kommunikationsinfrastrukturen (z.B. Mobilfunkantennen, Telefon- und Internetleitungen) • Gebäude (z.B. Häuser, Hallen)
Wasserwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Versorgung mit Brauchwasser und Abwasser im Siedlungsbereich inkl. Wasserwerke • Brauch- und Abwasserleitungsnetz, Abwasser-Reinigungsanlagen • Schifffahrt auf Flüssen (insbes. Rhein) und Seen • Fischerei <p>Energieproduktion Wasserkraft und Kühlung AKW werden im Auswirkungsbereich Energie berücksichtigt.</p> <p>Artenvielfalt aquatischer Ökosysteme und das Vorkommen aquatischer Lebensräume werden im Auswirkungsbereich Biodiversität berücksichtigt.</p>
Freiräume und Grünflächen ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Unversiegelte Flächen in Städten und Agglomerationen, die einen positiven Effekt auf das Stadtklima haben und der Erholung dienen. Als Auswirkungen sind v.a. solche zu verstehen, die ihre Multifunktionalität (Kühlung, Luftfilter, Erholung, Biodiversität etc.) beeinträchtigen.
Biodiversität	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen von denen der Mensch keinen unmittelbaren Nutzen hat, die jedoch als positiv oder negativ bewertet werden können (v.a. Veränderungen in der Artenvielfalt und in der Lebensraum-Vielfalt, s. Biodiversitäts-Indikatoren in 3.3.1). <p>Änderungen in den Ökosystemleistungen, die durch ihren Nutzen für den Menschen definiert sind³⁾, werden im Rahmen der anderen Auswirkungsbereiche erfasst, da sie mit diesen häufig ohnehin untrennbar verknüpft sind (z.B. Bestäubungsleistung der Bienen und landwirtschaftlicher Ertrag im Obstbau).⁴⁾</p>

Nicht alle Auswirkungsbereiche sind für alle Untersuchungsperimeter relevant. Daher sollte eine entsprechende Auswahl für jede zu untersuchende Einheit erfolgen. So ist beispielsweise der Auswirkungsbereich „Freiräume

Auswahl relevanter
Auswirkungsbereiche pro
Analyseeinheit

- 2) Der Auswirkungsbereich Freiräume und Grünflächen wurde im Rahmen der Fallstudie Zürich (Methodentest) in einer späteren Projektphase als Auswirkungsbereich festgelegt. Daher sind die allgemeinen Auswirkungen auf diesen Auswirkungsbereich in 2.4 nicht separat ausführlich beschrieben und er ist auch in der Fallstudie Davos nicht thematisiert.
- 3) Vgl. Millennium Ecosystem Assessment (2005): „Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems. These include provisioning services such as food, water, timber, and fiber; regulating services that affect climate, floods, disease, wastes, and water quality; cultural services that provide recreational, aesthetic, and spiritual benefits; and supporting services such as soil formation, photosynthesis, and nutrient cycling.“
- 4) Ökosystemleistungen sollen sofern relevant in den qualitativen Beschreibungen der anderen Auswirkungsbereiche berücksichtigt werden und wenn möglich auch quantitativ abgeschätzt werden. So wären auch Auswertungen und Aussagen über die klimabedingten Risiken und Chancen im Zusammenhang mit Ökosystemleistungen möglich.

und Grünflächen“ nur im Siedlungsgebiet relevant. Dort spielen dagegen die Auswirkungsbereiche „Wald“ und „Landwirtschaft“ oft keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle.

2.4 Allgemeine Auswirkungen pro Auswirkungsbereich

Im Folgenden werden für jeden Auswirkungsbereich die allgemeinen Auswirkungen der Klimaänderungen in der Schweiz, Wechselwirkungen mit anderen Auswirkungsbereichen und die Auswirkungen anderer (nicht-klimabedingter) Einflussgrössen qualitativ beschrieben. Als Grundlage dienen in der Literatur verfügbare Informationen sowie Rückmeldungen der Fachexperten des BAFU wie auch der Interviewpartner. Ausserdem werden in der Literatur diskutierte Anpassungsmassnahmen aufgelistet. Diese Übersichten dienen als Auslegeordnung für die in der Methode zur Risikoanalyse zu berücksichtigenden Risiken und Chancen.

2.4.1 Gesundheit

Auswirkungen des Klimawandels

Die Zunahme von Hitzewellen ist die wichtigste klimabedingte Veränderung für die menschliche Gesundheit. Direkte Auswirkungen sind Herz-Kreislaufprobleme, Hitzschlag, Dehydrierung (Austrocknung) und Hyperthermie (Überhitzung). Höhere Temperaturen führen auch zu höheren Ozonkonzentrationen, welche Atemwegserkrankungen bewirken und verstärken. So können Hitzewellen zu erheblichen Gesundheitsproblemen und zusätzlichen Todesfällen führen. Besonders betroffen sind ältere und pflegebedürftige Menschen sowie Kleinkinder. Darüber hinaus führen hohe Temperaturen zu einem Rückgang der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung.

Die Temperaturzunahme erhöht die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen durch verdorbene Lebensmittel und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen).

Eine weitere Auswirkung erhöhter Temperaturen ist eine Verlängerung der Pollensaison. Der Klimawandel beeinflusst zudem die Ausbreitung von fremden Pflanzen mit Allergiepotenzial.

Der Klimawandel beeinflusst den Zeitpunkt und die Häufigkeit von Naturgefahren, welche Verletzte, Tote und psychische Betroffene verursachen können. Im Einzelnen können diese positiv (z.B. weniger Eisglätte) oder negativ sein.

Der Klimawandel verändert die Lebensbedingungen für Vektoren (Träger von Infektionskrankheiten) und ihre Krankheitserregern. Eine Ausbreitung von exotischen Krankheiten ist unwahrscheinlich.

Dahingegen sind Krankheiten, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden (wie z.B. West-Nil-Fieber) auf dem Vormarsch. Bei den Zecken wird eine Ausbreitung erwartet, bei der Zeckenenzephalitis hingegen ein Rückgang aufgrund der Wärmeempfindlichkeit der Viren.

Der Kenntnisstand zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit von Nutz- und Wildtieren ist noch beschränkt. Es wird vermutet, dass vektorübertragene Krankheiten und die direkten Auswirkungen höherer Temperaturen die grössten Gefährdungen darstellen.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Biodiversität: Eine Änderung der Artenzusammensetzungen in diesen Auswirkungsbereichen beeinflusst die Art und Konzentration der Pollen.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Die direkte Auswirkung von Hitzewellen ist von der Klimatisierung in den Gebäuden abhängig.

Die Bildung von Ozon wird durch die Emission seiner Primärschadstoffe (Stickoxide, VOC) beeinflusst. Diese hängen wiederum stark vom Verkehr und der Industrie und den diesbezüglichen politischen Instrumenten ab (z.B. Emissionsbegrenzungen, Abgasvorschriften, Lenkungsabgaben).

Die Arbeitswelt wird durch die wirtschaftliche Entwicklung, die demographische Veränderung, den wirtschaftlichen Strukturwandel und Innovationen (wie Computer, Internet) stark beeinflusst.

Die Ausbreitung von fremden Pflanzen mit Allergiepotenzial ist stark an die Globalisierung und an den wachsenden Waren- und Personenverkehr gekoppelt.

Die Ausbreitung von vektorübertragenen Krankheiten wird auch von der Mobilität und dem Freizeitverhalten sowie der Freizeitbekleidung der Menschen beeinflusst.

Anpassungsmassnahmen

Bei Hitze: Frühwarnsysteme, Organisation der Betreuung von Risikogruppen, Information der Bevölkerung, Einsatz von Klimaanlage, angepasste Bauweise, Durchlüftungskorridore und Grünflächen in Städten, Gestaltung des Aussenraums (Fassaden, Minimierung dunkler Flächen), Beschattung, Senkung der Primärschadstoffe von Ozon (Stickoxide, VOC).

Bei Extremereignissen: Bauliche Schutzmassnahmen an Flussläufen, Frühwarnsysteme, raumplanerische Massnahmen, schnelle Bereitstellung von Hilfe an Opfer.

Bei Lebensmittelvergiftungen: Information der Bevölkerung zu Risiken und zur richtigen Lagerung von Lebensmitteln sowie Aufrechterhaltung hoher Standards bei der Lebensmittelkontrolle.

Bei vektorübertragenen Krankheiten: Beobachtung und Überwachung.

Bei der Gesundheit von Tieren: siehe teilweise oben, zusätzlich: Bestandsaufnahme des für die Schweiz relevanten Kenntnisstands; Identifikation und Schliessung wichtiger Forschungslücken

Literatur

OcCC (2007), Thommen Dombois und Braun-Fahrländer (2004), Teilstrategie Gesundheit (2010)

2.4.2 Landwirtschaft

Auswirkungen des Klimawandels

Durch den Klimawandel ändert sich die Eignung der Standorte für die landwirtschaftliche Produktion. Durch einen Temperaturanstieg von ca. 2-3°C im Jahresmittel bis 2050 wird die Vegetationsperiode verlängert. Infolgedessen wird die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen sowie der potenzielle Ernteertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen bei ausreichendem Wasser und Nährstoffangebot zunehmen. Die Tierproduktion wird bedingt durch Ertragssteigerungen im Futterbau von kostengünstigeren Futtermitteln und der Verlängerung der Weideperiode profitieren.

Die erhöhte Verdunstung von Pflanzen und Böden könnte bei abnehmenden Niederschlägen während der Vegetationsperiode an vielen Standorten zu Wasserknappheit führen.

Die Zunahme der Witterungsvariabilität und von Extremereignissen wie Hitzeperioden erhöht das Risiko von Schäden an Spezial- und Ackerkulturen und von Ertragseinbußen im Futterbau. Sollten Starkniederschläge zunehmen, würde die Bodenerosion (Oberbodenverlust) verstärkt. Die Zunahme der Hitzetage wird auch Probleme für die Tierhaltung mit sich bringen. Ausserdem könnte durch vermehrte Extremereignisse die Ertragssicherheit beeinträchtigt werden.

Die steigende Ozonkonzentration könnte die Ertragssicherheit zusätzlich verringern.

Steigende Temperaturen fördern das Aufkommen von Unkräutern, begünstigen Insektenschädlinge und können das Aufkommen neuer Schädlinge sowie Pflanzen- und Tierkrankheiten fördern.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Energie, Tourismus, Siedlungswasserwirtschaft: Verschiedene Bereiche konkurrieren bei abnehmender Wasserverfügbarkeit und temporärer Wasserknappheit und Wasserressourcen.

Siedlungswasserwirtschaft: Wasserspeicherung und -verteilung.

Biodiversität: Änderung der Artenzusammensetzung, Schutzmassnahmen.

Gesundheit: Tiergesundheit, Schädlingsregulierung.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Neben dem Klimawandel werden die Liberalisierung der Märkte und die Anpassung der Agrarpolitik die Landwirtschaft schrittweise neu gestalten und daher wichtige Einflussfaktoren sein. Im Zentrum der momentanen Agrarpolitik (AP 2007) steht die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der einheimischen Land- und Ernährungswirtschaft. Diese Massnahmen werden eine Reduktion des landwirtschaftlichen Produktionswertes bewirken. Die Auswirkungen des Strukturwandels auf die Bodennutzung, den Anbau der Kulturen oder die Bewirtschaftung der Wiesen und Weiden sind noch nicht genau abschätzbar.

Anpassungsmassnahmen

Generell sollten Anpassungsmassnahmen die spezifische Eignung der Standorte berücksichtigen.

Kulturen: Prüfung des Potenzials bestehender und alternativer Kulturen. Kulturen, die dem veränderten Klima nicht mehr angepasst sein werden, sollten durch neue ersetzt werden. Um das Risiko von Missernten besser verteilen zu können, sollte standortangepasst eine vielfältige Mischung an Kulturen angestrebt werden.

Anbauverfahren: Um Ertragsverluste im Ackerbau zu reduzieren, muss der Aussaatzeitpunkt den wärmeren Temperaturen angepasst werden. Haushälterischer Umgang mit Wasser, möglichst effektive Einsetzung des Bewässerungswassers an Standorten mit ausreichendem Wasserangebot für künstliche Bewässerung, temporäre Zusatzbewässerung in Abhängigkeit von Wasserverfügbarkeit und Kosten. Heutige Grünlandflächen können aufgrund verbesserter Standortbedingungen in Acker umgewandelt werden. Allerdings würde dadurch die Bodenbearbeitung intensiviert werden.

Betriebsführung: Weniger intensive Bodenbearbeitung, vorausschauende Planung und Risikoabwägung dank neuer, saisonaler Prognosen, Diversifizierung der Betriebe, Versicherungsdeckung für Ernteverluste infolge extremer Witterungsbedingungen.

Literatur

Calanca und Holzkämper (2010), Fuhrer (2010), Fuhrer und Jasper (2009), Fuhrer et al. (2006), OcCC (2007)

2.4.3 Wald

Auswirkungen des Klimawandels

Wälder liefern ökonomisch relevante Produkte wie Holz, erfüllen Lebensraum- und Erholungsfunktionen, leisten einen Beitrag zur Naturgefahrenprävention und zur Lebensraumsicherheit, und sind wichtige Kohlenstoffspeicher bzw. -senken. Die Bereitstellung dieser Waldleistungen und -produkte wird durch den Klimawandel und den dadurch bedingten Trend zu häufigeren und intensiveren Störungsereignissen häufig negativ beeinflusst.

Allenfalls verbessert der Temperaturanstieg die Wuchsbedingungen in höheren Lagen, wobei sich dieser Effekt erst allmählich auswirken dürfte. Ausserdem ist anzumerken, dass Laubbäume stellenweise Nadelbäume verdrängen.

Kommt es zu intensiveren und häufigeren Trockenperioden, werden die Bäume geschwächt und vor allem Nadelbäume anfälliger für Schadinsekten wie Borkenkäfer. Ausserdem wird erwartet, dass pathogene Organismen häufiger auftreten und virulenter werden. Vor allem kombinierte Effekte, z.B. durch die Kombination hoher Temperaturen und geringer Niederschläge, dürften die genannten Waldfunktionen beeinträchtigen.

Das Waldbrandrisiko erhöht sich, auch auf der Alpennordseite; dies könnte nochmals verstärkt werden durch Änderungen im Freizeitverhalten (Inanspruchnahme höher gelegener Wälder durch Erholungssuchende während Hitze-/Dürreperioden).

Aufgrund der prognostizierten oder möglichen Zunahme Extremereignissen (v.a. Sturm, aber auch Waldbrand, Hitze und Dürre im Sommer) kann die Schutzwirkung der Wälder eingeschränkt werden. Die Entwicklung von Ereignissen und deren Auswirkungen sind jedoch schwierig abzuschätzen.

Besonders verletzlich sind Bestände mit hohen Nadelbaumanteilen in tieferen Lagen, Trockenstandorte und andere Waldökosysteme, in denen Klimaänderungen Wirkungskaskaden auslösen können (z.B. starker Schädlingsbefall infolge höherer Temperaturen).

Aufgrund höherer Wintertemperaturen wird sich die Befahrbarkeit von Waldbeständen für die Holzerte deutlich verschlechtern.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Biodiversität: Exoten, Ausdehnung Auen, Stabilität der Ökosysteme.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Steigende Energiekosten könnten zur Folge haben, dass Holz verstärkt als Rohstoff und Energieträger genutzt wird.

Anpassungsmassnahmen

Beschleunigte Verjüngung bei Schutzwäldern mit kritischer Stabilität, Überführung von anfälligen Beständen in robustere Wälder, klimasensitive Standorte durch waldbauliche Pflege rezipierender Mischungen (anpassungsfähige Baumarten, Entfernen von Dürholz bei hohem Brandrisiko), zielgerichtete Jungwaldpflege mit standortangepasster Baumartenwahl.

Literatur

Angst (2007), Brang et al. (2008), Ciais et al. (2005), Engesser et al. (2008), OcCC (2007), Rigling et al. (2008), Wohlgemuth (2006), Wohlgemuth et al. (2008), Teilstrategie Waldwirtschaft

2.4.4 Energie

Auswirkungen des Klimawandels

Die Beschreibung beschränkt sich auf die direkten Auswirkungen der Klimaveränderung. Die Auswirkungen der politischen Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgase auf den Energiebereich sind nicht Thema dieser Studie.

Als Folge steigender Temperaturen ändert sich die Nachfrage nach Energie in Gebäuden. Im Winter wird weniger (zu einem grossen Teil fossiler) Heizenergie verbraucht, im Sommer nimmt der Bedarf nach (elektrischer) Kühlenergie zu.

Bei der Bereitstellung von Energie wirkt sich die Klimaveränderung primär auf die Elektrizitätsproduktion durch Wasser- und Kernkraft aus. Es ist unklar, ob 2050 mehr oder weniger Wasser für die Stromproduktion zur Verfügung stehen wird. Wegen der abschmelzenden Gletscher steht bis 2050 leicht mehr Wasser zur Verfügung, wegen der zunehmenden Verdunstung leicht weniger. Von grösserer Bedeutung sind jedoch Änderungen des Niederschlags. Es ist derzeit unklar, wie sich der Niederschlag verändern wird. Auch die Saisonalität der Wasserverfügbarkeit wird durch die Klimaänderung beeinflusst. Der Niederschlag in Form von Schnee nimmt ab und in Form von Regen zu; die Gletscher verlieren an Volumen. Dies bewirkt eine Verschiebung des verfügbaren Wassers vom Sommer in den Frühling. Ein geglättetes Abflussregime ist für die Flusskraftwerke übers Jahr positiv und ermöglicht auch Speicherkraftwerken mehr Flexibilität.

Auch bei der Kernkraft werden wegen der Klimaänderung Produktionseinbussen erwartet, da einige Kernkraftwerke mit Wasser aus anliegenden Flüssen kühlen. In Folge höherer Wassertemperaturen und abnehmender Pegelstände können sie in Zukunft weniger Kühlleistung beziehen, wenn die Gewässererwärmung einen Schwellenwert überschreiten würde.

Die prognostizierte Zunahme an Niederschlagsextremen führt zu höheren Sedimentfrachten in den Flüssen und beeinflusst damit die Nutzung der Wasserkraft.

Der direkte Effekt des Klimawandels auf die Nutzung erneuerbarer Energien (Sonne und Wind) ist noch unsicher.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Siedlungswasserwirtschaft: Die verstärkte Konkurrenz um die Ressource Wasser betrifft auch die Wasserkraft.

Waldwirtschaft: Das Potenzial an Holzenergie ist von der Waldzunahme und der Entwicklung des Holzpreises abhängig.

Infrastrukturen und Gebäude: Auch im Energiebereich sind Infrastrukturen und Bauten in den Bergen (Talsperren, Leitungen, Übertragungsleitungen) einem höheren Risiko ausgesetzt.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Der Energiesektor wird von der wirtschaftlichen, technologischen und demographischen Entwicklung sowie von den politischen Rahmenbedingungen (beispielsweise Öffnung des Strommarktes, Anforderungen an Restwassermengen) stark beeinflusst.

Anpassungsmassnahmen

Bei Zunahme der Energienachfrage zur Kühlung im Sommer: angepasste Bauweise, Minimalanforderungen an Klimatisierungstechnik, Durchlüftungskorridore und Grünflächen in Städten, Beschattung.

Bei Produktionseinbussen bei der Kernkraft: Hybride Kühltürme, Bestimmungen zur Einleitung von Kühlwasser.

Bei erhöhten Sedimentfrachten: künstliche Bepflanzung der vegetationslosen Flächen mit Pionierpflanzen zur Verminderung der Sedimentfracht, Massnahmen zur Ufer- und Hangstabilisierung, Aufwirbelung der Sedimente in Stauseen und Abtransport mit dem Abfluss, Sedimentbarrieren (Schüttdamm, Geotextilbarrieren, etc.).

Bei veränderter Wasserverfügbarkeit: Forschung für lokale Prognosen, Anpassung der Ausbauwassermenge, betriebliche Anpassungen, Anpassung der landwirtschaftlicher Produktion, Anlegen von dezentralen Wasserspeichern

Literatur

Hänggi und Plattner (2009), IG Wasserkraft (2003), OcCC (2007), PSI (2007)

2.4.5 Tourismus

Auswirkungen des Klimawandels

Der Temperaturanstieg bewirkt, dass die Schneegrenze steigt. In den Voralpen führt dies im Winter dazu, dass die natürliche Schneesicherheit sinkt und die Attraktivität der Winterlandschaft abnimmt. In tiefer gelegenen Skigebieten gelingt es nicht mehr, vor Weihnachten die üblich gewordene Kunstschneedecken aufzubauen. In höher gelegenen Skigebieten (welche sich hauptsächlich in Graubünden und Wallis finden) bleibt die natürliche Schneesicherheit auch bei einem lokalen Temperaturanstieg von bis zu 4°C gesichert. Der alpine Wintersport-Tourismus profitiert daher von einer verbesserten Konkurrenzsituation im Vergleich zu tiefer liegenden Destinationen im In- und Ausland. Die Länge der Skisaison könnte sich jedoch verkürzen.

Neben den Temperaturänderungen spielen auch die Änderungen der Niederschläge eine wichtige Rolle für die Schneesicherheit. Die Veränderung der Winterniederschläge ist derzeit noch ungewiss.

Steigende Temperaturen können in den übrigen Jahreszeiten zu einer Attraktivitätszunahme und Verlängerung der Sommersaison führen. Die Badesaison in den Seeregionen wird verlängert, wie auch die Sommersaison in den Voralpen und Alpen. In den Städten findet eine Mediterranisierung statt: Aktivitäten werden vermehrt nach draussen verlagert und der öffentliche Raum wird belebt.

Wird es im Süden und in tiefen Lagen zu heiss, können vor allem alpine Gebiete durch eine Wiederbelebung der "Sommerfrische" von einer verbesserten Konkurrenzsituation profitieren.

Schwindende Gletscher und die sich schleichend anpassende Vegetation verändern die Landschaft. Die Attraktivität der Landschaften kann sich dadurch verändern.

Steigende Temperaturen tragen dazu bei, dass der Permafrost auftaut und zu instabileren Bodenverhältnissen für Verkehrs- und Tourismusinfrastrukturen in grossen Höhen führt. Extremereignisse können Infrastrukturen für den Tourismus und Verkehr gefährden. Die Gesundheit von Alpinisten wird durch Steinschlag vermehrt gefährdet.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Siedlungswasserwirtschaft: Die verstärkte Konkurrenz um die Ressource Wasser betrifft auch den Tourismus (Seenregulierung, Schifffahrt, Beschneiungsanlagen).

Gesundheit: Die gesundheitlichen Auswirkungen der Hitze im In- und Ausland können zu einer Veränderung der zeitlichen und örtlichen Verteilung der Touristen führen.

Infrastrukturen und Gebäude: Auch im Tourismus sind Infrastrukturen und Bauten in den Bergen (Bergbahnen, Verkehrswege, etc.) einem höheren Risiko ausgesetzt.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Andere Faktoren beeinflussen das Reiseverhalten sehr stark, wie beispielsweise das Wohlstandsniveau, der demographische Wandel, die Energiepreise, die Wechselkurse, Wertewandel, Konsum- und Mobilitätstrends, neue (Transport- und Kommunikations-) Technologien und Gesundheitsgefährdungen (wie z.B. die Schweinegrippe).

Anpassungsmassnahmen

Diversifikation des Angebots und gezieltes Marketing, um auch ohne Schnee, im Sommer sowie bei Hitzewellen attraktiv zu sein, Entwicklungen vor Ort und im Reiseverhalten beobachten, Forschung unterstützen und frühzeitig reagieren, Weiterentwicklung und Sicherung des Schneesports durch Verlagerung in höhere Gebiete und Beschneigung aber auch den Rückzug aktiv gestalten, Verstärkung der Gefahrenabwehr durch technische Massnahmen (Aufforstungen, Schutzzonen, Infrastrukturen schützen, Gletscher abdecken), Risikoverminderung durch organisatorische Massnahmen (Fusion von Bergbahngesellschaften, Gefahrenzonenpläne, Sensibilisierung von Bevölkerung und Touristen).

Literatur

Müller und Weber (2007), OcCC (2007), OECD (2007), Schweiz Tourismus (2008)

2.4.6 Infrastrukturen und Gebäude

Auswirkungen des Klimawandels

Durch die Auswirkungen des Klimawandels wie sich aufwärmender Permafrost, schmelzende Gletscher, ein erhöhter Regenanteil am Niederschlag und die prognostizierte Zunahme von Starkniederschlägen werden bestimmte Hänge instabiler. Hanginstabilitäten führen zu Rutschungen, Felsstürzen und Murgängen und können dadurch Bauten und Infrastrukturen im Berggebiet beschädigen, wie beispielsweise Siedlungen, Bahntrassen, Tourismusinfrastrukturen, Strassen, Wasserfassungen, Stromübertragungsleitungen, etc.

Durch einen höheren Regenanteil am Niederschlag im Winter werden für mittlere und grosse Einzugsgebiete häufigere und grössere Hochwasser erwartet. Diese können zu Überschwemmungen führen und Bauten und Infrastrukturen beschädigen. Im Hochgebirge und in kleinen Einzugsgebieten überlagern sich mehrere Effekte, welche zu einer Zu- und Abnahme von Hochwassern beitragen. Eine klare Prognose ist daher nicht möglich.

Unsicher ist die Entwicklung von Lawinen. Bei den Stürmen rechnet man in Mitteleuropa mit einer generellen Abnahme, hingegen mit einer Zunahme von sehr starken Stürmen. Hagelereignisse mit grossen Schäden haben in den letzten Jahren zugenommen und dürften auch in Zukunft zunehmen.

Eine Zunahme der Winterniederschläge kann wegen der erhöhten Schneelast bei starken Regen in den Schnee vereinzelt statische Probleme bei Dächern verursachen. In tieferen Lagen nimmt die Schneelast hingegen ab.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Waldwirtschaft: Die Entwicklung der Schutzwälder beeinflusst die Naturgefahren.

Siedlungswasserwirtschaft: Die Ausrichtung der Seenregulierung beeinflusst das Hochwasserrisiko.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Wichtige Einflussfaktoren sind die demographische und wirtschaftliche Entwicklung sowie die Raumplanung, die Verkehrs- und Energiepolitik. Die bisherige starke Zunahme des Schadenspotenzials ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Wertedichte deutlich gestiegen ist und dass immer mehr Siedlungen und Infrastrukturbauten in risikoreichen Gebieten erstellt wurden.

Zudem hat die Vulnerabilität/Schadenempfindlichkeit zugenommen (z.B. Storen, Solaranlagen, usw.)

Sehr wichtige Faktoren für das Strassennetz sind beispielsweise die Gewichtslimite der Lastwagen oder die Menge schwerer Fahrzeuge.

Anpassungsmassnahmen

Für den Schutz vor Naturgefahren hat sich das integrale Risikomanagement als Leitlinie etabliert. Dabei werden Massnahmen zur Prävention, Intervention und Wiederherstellung aufeinander abgestimmt. Prioritär sind eine angepasste Raumplanung, der Unterhalt von Schutzbauten, eine nachhaltige Schutzwaldpflege, neue Schutzbauten sowie die wirksame Überwachung und Kontrolle potenziell gefährdeter Anlagen und Gebiete. Durch geeignete Objektschutzmassnahmen lassen sich Schäden an Gebäuden wirksam verhindern.

Literatur

OcCC (2003), OcCC (2007), Teilstrategie Naturgefahren (2010)

2.4.7 Siedlungswasserwirtschaft⁵⁾

Auswirkungen des Klimawandels

Siedlungswasserwirtschaft umfasst die Bereiche Brauchwasser und Abwasser im Siedlungsbereich und klammert Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme (siehe "Biodiversität"), Energie (siehe "Energie") und Hochwasser (siehe "Infrastrukturen und Gebäude") aus.

Es ist derzeit unklar, ob Niederschläge im Jahresdurchschnitt mit der Klimaveränderung zu- oder abnehmen. Es wird davon ausgegangen, dass Niederschläge im Sommer abnehmen werden. Die Zunahme der Niederschläge im Winter gemäss OcCC (2007) scheint sich gemäss Vorabresultaten zu den noch nicht veröffentlichten neuen Klimaszenarien 2011 nicht zu bestätigen und muss offen bleiben. Klar ist aber, dass der Niederschlag in Form von Schnee ab- und in Form von Regen zunimmt und die Gletscher an Volumen verlieren. Dies bewirkt eine Verschiebung des verfügbaren Wassers vom Sommer in den Frühling.

Im Sommer nimmt das Wasserdargebot daher ab. Auf der Gegenseite erhöht sich die Nachfrage, vor allem in der Landwirtschaft, weil die Niederschläge im Sommer tendenziell abnehmen und die Verdunstung zunimmt. Ein weiteres Beispiel ist die erwartete Zunahme der Nachfrage nach Löschwasser für Waldbrände. Es ist – zeitlich und örtlich beschränkt – mit Wasserengpässen zu rechnen. Es kommt vermehrt zu Konkurrenz zwischen verschiedenen Nutzungen.

Durch die veränderten Niederschläge wird die stark vernetzte öffentliche Wasserversorgung kaum gefährdet. Quellschüttungen könnten jedoch vereinzelt saisonal stärker schwanken und zum Teil im Sommer versiegen.

Flusswasser wird wärmer und damit sauerstoffärmer. Durch die Einleitung aus Abwasserreinigungsanlagen kann es bei Niedrigwasser häufiger übermässig belastet werden. Infiltriert Flusswasser das Grundwasser, wird auch dieses durch diese Veränderungen beeinflusst. Abwasserreinigungsanlagen werden jedoch nach 20-30 Jahren dem jeweiligen Stand der Technik angepasst; es kann erwartet werden, dass ihr Reinigungsgrad weiter verbessert wird.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Landwirtschaft, Energie, Tourismus: Der Bedarf dieser Bereiche nach Wasser führt mit einem verringerten Dargebot zu einer erhöhten Konkurrenz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Wichtige Einflussfaktoren sind demographische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung sowie Landnutzungsänderungen.

Anpassungsmassnahmen

Vereinzelte Knappheit bei Trinkwasserversorgung: Oberflächengewässer können für Trinkwasser genutzt werden, Verbundnetze der Trink- und Brauchwasserversorgung können ausgebaut werden und neue Grundwasserressourcen können erschlossen werden.

Verstärkte Konkurrenz um Wasser: Einzugsgebietsmanagement. Nachfrageseitig: effiziente Bewässerungstechniken in der Landwirtschaft, Sortenwechsel, Erarbeitung von Nutzungs-Prioritäten, -rechten und -preisen. Angebotsseitig kann Wasser regional oder überregional bewirtschaftet werden, die Seenregulierung kann den Gegebenheiten angepasst werden und der Bedarf an neuen Speichern kann abgeklärt werden.

Literatur

OcCC (2007), Teilstrategie Wasserwirtschaft (2010)

5) Der Fokus der Beschreibung allgemeiner Auswirkungen des Klimawandels ist hier klar auf der Siedlungswasserwirtschaft. Dies entspricht der ursprünglichen Abgrenzung der Auswirkungsbereiche und wurde auch in den Experteninterviews so verwendet. Die Erweiterung zu „Wasserwirtschaft“ (vgl. 2.3) ist später erfolgt und konnte daher hier nicht mehr berücksichtigt werden.

2.4.8 Biodiversität

Auswirkungen des Klimawandels

Zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels gehören der Verlust an biologischer Vielfalt und ganzer Lebensgemeinschaften, die Veränderung der Artenzusammensetzung und der Saisonalität, die Veränderung der Landbedeckungsformen, der Verlust an Bodensubstanz und -qualität sowie die veränderte ökosystemare Nutzen für den Menschen.

Ausserdem hat der Klimawandel zur Folge, dass sich die Verbreitungsgebiete von Ökosystemen und Arten entlang der Klimazonen, Höhen- und Feuchtgradienten verändern. Auf der Nordhalbkugel wird bei einer durchschnittlichen globalen Erwärmung von 3°C und in 100 Jahren eine horizontale Verschiebung von ca. 600 Kilometern von Süd nach Nord sowie eine vertikale Verschiebung um ca. 600 Höhenmeter erwartet. Nicht alle Arten werden die Geschwindigkeit dieser Verschiebungen mitgehen können. Gehölze breiten sich in der Regel mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 Kilometern in 100 Jahren aus, viele alpine Arten mit 50 Höhenmetern in 100 Jahren und einzelne alpine Grasarten sogar nur mit 4 Metern in 100 Jahren. Teilweise erlaubt ein Habitat auch keine weitere vertikale Wanderung in höheren Lagen mehr. Neben räumlichen Verschiebungen können sich Gene, Erscheinungsbild oder Verhalten von Arten verändern. Gefährdet sind vor allem trockene Standorte durch eine veränderte Niederschlagsverteilung und Feuchtgebiete auf Permafrostboden durch Abschmelzen des Eises.

Berggebiete gelten als besonders sensibel und werden die höchsten Artenverluste hinnehmen müssen. Die „Flora alpina“ umfasst gegenwärtig 4'491 Pflanzen, davon 501 endemische Arten. 45 Prozent der alpinen Arten gelten bis 2100 als vom Aussterben bedroht. Auch bei der Fauna dürften mehrere Tierarten, welche oft heute schon unter anthropogenem Druck stehen, aussterben.

Der Klimawandel kann für die Biodiversität auch Chancen beinhalten. So gehören die meisten Insektenarten zu den Gewinnern des Klimawandels: Neue Arten wandern ein, viele einheimische Arten werden häufiger. Kontrovers diskutiert wird, inwiefern das Einwandern fremder Arten auch als Chance gesehen werden kann.

Es gibt zahlreiche indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität. So gefährdet der Rückgang der Gletscher die Wasserführung alpiner Gewässer. Weniger Wasser kann wiederum – zusammen mit anderen Faktoren wie z.B. der Erwärmung der Gewässer – die Artenzusammensetzung von Fließgewässern beeinflussen. Verändern sich die Flüsse bedeutet das schliesslich auch Veränderungen für Auen und Feuchtgebiete bzw. ihre Ökosysteme und Arten.

Viele Wechselwirkungen sind jedoch noch nicht verstanden, daher lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels sehr schwer bzw. gar nicht quantifizieren.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Infrastrukturen und Gebäude: Der Ausbau von Infrastrukturen, das Wachstum und die Intensivierung der Raumnutzung generell (z.B. durch Tourismus), können Zersiedlung, Landschaftszerschneidung und -fragmentierung zur Folge haben. Habitate können verloren gehen, die Artenzusammensetzung kann sich ändern.

Energie: Bedarf an Biokraftstoffen hat Einfluss auf Artenzusammensetzung.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Zu den wichtigen Einflussfaktoren der Biodiversität gehören Veränderungen der Landnutzung, die steigende Flächeninanspruchnahme sowie Umweltverschmutzung generell.

Anpassungsmassnahmen

Wissensmanagement: Wissen erarbeiten zur Klimasensitivität und Anpassungsfähigkeit von Lebensräumen, Arten und Populationen sowie zu Ausbreitungsmechanismen invasiver Arten und Bekämpfungsmöglichkeiten.

Prävention: Monitoring klimasensitiver Arten und Lebensräume, Schaffung von Klimakorridoren, Nutzungsempfehlungen für wichtige Landnutzer, Erhaltung von klimasensitiver Lebensräume wie Feuchtlebensräume

Ereignisbewältigung, künstlicher Genaustausch, Umsiedlungsmassnahmen

Literatur

Berry et al. (2008), CIPRA (2009), Forum Biodiversität Schweiz (2007), Korn/Epple (2006), OcCC (2007), SCNAT (2008), Teilstrategie Biodiversität

3 Methode zur Analyse von Klimarisiken

3.1 Ausgangslage

3.1.1 Methodische Herausforderungen

Studien zur Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Klimaänderungen sind mit wesentlichen methodischen Herausforderungen konfrontiert, die auch in der vorliegenden Methode von Bedeutung sind. Es handelt sich dabei v.a. um folgende methodischen Aspekte⁶⁾:

Übersicht methodischer Aspekte von Schadenskosten-Studien

1. Szenarien: Neben Klimaszenarien müssen auch „non-climate scenarios“ (sozioökonomische Änderungen, Landnutzung und Veränderung der Landbedeckung, Umweltszenarien) berücksichtigt werden, da sie eine wesentliche Rahmenbedingung für die künftige Verletzlichkeit und damit für die künftigen Auswirkungen darstellen.
2. Bewertungsansatz: Aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels auf Marktgüter und Nicht-Markt-güter sind unterschiedliche Bewertungsmethoden notwendig. Besonders im Zusammenhang mit der auf Studien beruhenden Bewertung von Nicht-Markt-gütern kann eine Übertragung der Werte vom Studienort und -zeitpunkt zum „Politikort“ bzw. -zeitpunkt notwendig sein.
3. Berücksichtigte Auswirkungen: Die berücksichtigten indirekten Auswirkungen der Klimaänderung sind abzugrenzen und zu bewerten, wobei diese häufig nicht eindeutig einer Ursache zuzuordnen sind. Sowohl bei direkten als auch bei indirekten Auswirkungen ist je nach Fragestellung auch die Verteilung der positiven und negativen direkten und indirekten Auswirkungen zu berücksichtigen.
4. Berücksichtigte Anpassung: Der Level der Anpassung ist wesentlich für die Grösse der künftigen Risiken und Chancen. Bei Berücksichtigung von Anpassung und damit verbundener Risikominderung sollten auch die Anpassungskosten berücksichtigt werden.⁷⁾
5. Aggregation der Auswirkungen über die Zeit: Werden die Auswirkungen von Klimaänderungen für einen grösseren Zeitraum betrachtet, so stellt sich die Frage nach der Diskontierung. Im Zusammenhang mit Analysen zu den Auswirkungen von Klimaänderungen und der Beurtei-

Szenarien

Bewertungsansatz

Berücksichtigte Auswirkungen

Berücksichtigte Anpassung

Aggregation über die Zeit

6) Eine gute Übersicht über einige dieser methodischen Aspekte geben Kuik et al. (2008).

7) Andererseits ist in Studien, in denen die Auswirkungen bestimmt werden sollen, um den Anpassungsbedarf abzuleiten (wie in der vorliegenden Studie) die Berücksichtigung von Anpassung nicht oder nur bedingt geeignet.

lung von Anpassungskosten stellt dies ein für die Ergebnisse häufig entscheidendes und damit viel diskutiertes Thema dar (siehe z.B. Pearce et al. 2003). Da in der vorliegenden Methode die Risiken und Chancen von unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen und nicht über einen längeren Zeitraum aggregiert werden, stellt sich hier die Frage der Diskontierung nicht.

Räumliche Aggregation der
Auswirkungen

6. Räumliche Aggregation der Auswirkungen: Bei der räumlichen Aggregation von klimawandel-bedingten Risiken stellt sich die Frage, welche Konsequenzen miteinander "verrechnet" werden können, ohne den Aussagegehalt der Angaben unnötig zu reduzieren. Dies hängt im Wesentlichen von der Fragestellung ab: Sollen Angaben zu den erwarteten Konsequenzen in einem Sektor gemacht werden, oder z.B. zur Veränderung der Wertschöpfung auf Gemeindeebene? Je nach Fragestellung sind daher unterschiedliche Aggregationsregeln zu entwickeln.

Unsicherheiten und
Irreversibilitäten

7. Unsicherheiten und Irreversibilitäten: Bei Klimarisikoanalysen bestehen erhebliche Unsicherheiten, z.B. bezüglich der Klimaveränderung (z.B. Unklarheit, ob die Niederschläge zu oder abnehmen) sowie bezüglich der direkten und indirekten Auswirkungen dieser klimatischen Veränderungen.⁸⁾ Die erheblichen Unsicherheiten bei der Bewertung der Risiken und Chancen sind Folge der grossen Komplexität des Untersuchungszusammenhanges. Die Ergebnisse sind aufgrund solcher Untersuchungen nicht grundsätzlich in Frage zu stellen, sondern sie weisen transparent darauf hin, wie die Ergebnisse zu interpretieren sind.⁹⁾ Dies muss auch für die Anwendungen der hier entwickelten Methode gelten.¹⁰⁾

3.1.2 Vorliegende Analysen für die Schweiz

Klimaänderungen und die
Schweiz 2050

Die erwarteten Klimaänderungen und deren Folgen für die Schweiz werden durch das beratende Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC in ihrem Bericht „Klimaänderung und die Schweiz 2050“ gegliedert nach den

8) Schon im Beitrage der Arbeitsgruppe III zum 2. Sachstandsbericht (SAR) des IPCC (Pearce et al. 1996) wird auf die grossen Unsicherheiten hingewiesen, die mit einer Modellierung der grossräumigen, bewerteten Auswirkungen von Klimaänderungen zusammenhängen. Der Beitrag der Arbeitsgruppe II zum aktuellen 4. Sachstandsbericht (AR4) (Schneider et al. 2007) bestätigt die grundsätzlichen Unsicherheiten und Limitierungen solcher Bewertungen und weist auf neuere Studien hin, die zeigen, dass z.B. die Berücksichtigung indirekter Auswirkungen zu deutlich höheren Schadenswerten führt (vgl. Fankhauser und Tol 2005 oder Stern 2007). Zudem wird festgehalten, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu einer Bewertung der ökonomischen Chancen durch die Klimaänderungen sehr limitiert sind.

9) Welcher Art die Unsicherheiten im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind und welche Folgen sich aus diesen Unsicherheiten für die Klimapolitik ableiten lassen, zeigt Fischlin (2009).

10) Im Zusammenhang mit diesen Unsicherheiten stellt sich die Frage, inwiefern diese mitbewertet werden sollen. Im Risikokzept wird dazu das Bewertungselement der Risikoaversion verwendet (vgl. BABS 2008a). Es handelt sich bei diesem Bewertungsaspekt insbesondere um die Berücksichtigung gesellschaftlicher Wertungen, wie mit Risiken mit besonders schwerwiegenden Konsequenzen umgegangen werden soll. Im Rahmen dieser Methode wird die Risikoaversion jedoch nicht einbezogen. Auch im Zusammenhang mit Studien zu Schäden durch den Klimawandel wird die Risikoaversion als Bewertungsaspekt diskutiert, bisher jedoch nach heutigem Kenntnisstand noch nicht explizit angewendet (Kuik 2008).

betroffenen Sektoren beschrieben (OcCC 2007) und stellen eine wichtige Grundlage für die vorliegende Arbeit dar.

Die direkten und teils indirekten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz auf die Schweizer Volkswirtschaft wurden 2007 im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (Arbeitsgemeinschaft Ecoplan/Sigmaplan 2007) analysiert, mit folgendem Fazit:

Auswirkungen auf die
Volkswirtschaft

- Klimabedingte Folgeschäden sind bis 2050 moderat und steigen bis 2100 deutlich an;
- Tourismus und Energiebereich sind am meisten von Klimaänderung betroffen;
- Grosse Umwälzung in einzelnen Wirtschaftssektoren (z.B. Umgestaltung der Stromproduktion, Neuorientierung im Tourismusbereich) trotz relativ moderaten klimabedingten Schäden;
- Für die Schweiz ist die Klimaänderung wirtschaftlich verkraftbar – für eine Klimaschutzpolitik stehen aus Schweizer Sicht andere Motive im Vordergrund, nämlich die Absicherung gegenüber den Unsicherheiten im Zusammenhang mit Klimaänderungen, sowie die internationale und intergenerationelle Gerechtigkeit.

Auch die Auswirkungen aus der Vernetzung mit den internationalen Güter- und Faktormärkten für die Schweiz wurden im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt bereits untersucht (Infras/Ecologic/Rütter+Partner 2007), mit folgendem Fazit:

Auswirkungen aus
internationaler Vernetzung

- Die Gefährdung der Schweiz durch die Klimaänderung über den internationalen Einflusskanal „Exporte“ ist in der Grössenordnung vergleichbar mit dem nationalen Schadenspotenzial (Arbeitsgemeinschaft Ecoplan/Sigmaplan 2007);
- Insgesamt dürften die internationalen Einflüsse der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft grösser ausfallen als die direkt in der Schweiz spürbaren nationalen Einflusskanäle.

3.2 Grundzüge der Methode

Im Rahmen des Pilotprojektes wurde eine Methode entwickelt, mit der die klimabedingten Risiken und Chancen in der Schweiz analysiert werden können. Der Schwerpunkt der Methodenentwicklung liegt auf einem Verfahren zur Modellierung der heutigen und künftigen klimabedingten Risiken und Chancen, wobei mögliche Anpassungsmassnahmen ausgeblendet werden.

Modellierung klimabedingter
Risiken und Chancen ohne
Anpassung

Die Methoden zur Datenerfassung sind stark vom jeweiligen Kontext abhängig, besonders vom untersuchten Perimeter, den verfügbaren Ressour-

Datenerfassung ist
kontextabhängig

cen und den verfügbaren Daten. Zentrale Aspekte der Datenerfassung sind in Kapitel 3.4 beschrieben. Im Kapitel 4.2.1 ist das Vorgehen zur Datenerfassung in der Pilotanwendung beschrieben.

Die einzelnen Schritte der entwickelten Methode zur Klimarisiko-Analyse lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

- | | |
|-----------------------------|--|
| Festlegen Rahmenbedingungen | <ol style="list-style-type: none"> 1. Abgrenzung des Untersuchungsperimeters 2. Beschreibung der verwendeten Klimaszenarien und sozioökonomischen Szenarien 3. Identifikation der im Untersuchungsgebiet relevanten klimawandelbedingten Gefahren und Effekte (vgl. 2.2) über Wirkungen der Klimaänderungen und Beschreibung von Beispielszenarien pro Gefahr oder Effekt 4. Festlegung der für das Untersuchungsgebiet relevanten Auswirkungsbereiche, in denen sich der Klimawandel direkt manifestiert 5. <i>Definition von Indikatoren, mit denen die Auswirkungen pro Nachhaltigkeitsdimension erfasst werden können</i> 6. <i>Definition von Umrechnungsfaktoren, um verschiedene Indikatorwerte vergleichbar und aggregierbar zu machen (Monetarisierung)</i> |
| Datenerhebung | <ol style="list-style-type: none"> 7. <i>Qualitative Bestimmung der Auswirkungen pro Gefahr/Effekt für jeden Auswirkungsbereich</i> 8. Quantitative Abschätzung der (heutigen und künftigen) Auswirkungen klimarelevanter Gefahren und Effekte pro Beispielszenario und der maximal vorstellbaren Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt unter heutigen und unter veränderten sozioökonomischen und Klimabedingungen. 9. Formulierung einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) pro Gefahr und Effekt, welche die Verteilung der jährlichen Auswirkungen im Untersuchungsgebiet beschreibt |
| Modellierung | <ol style="list-style-type: none"> 10. Berechnung von aggregierten Auswirkungen pro Gefahr/Effekt und Jahr (Aggregation über Auswirkungsbereiche) 11. Möglichkeit zur Berücksichtigung von Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren (Abhängigkeiten von gleichen Klimavariablen, gegenseitige Beeinflussung) 12. Berücksichtigung von mehreren künftigen Klimazuständen und sozioökonomischen und demographischen Zukunftsbildern |
| Ergebnisdarstellung | <ol style="list-style-type: none"> 13. Darstellung der Ergebnisse |

Die kursiv gedruckten Schritte 5, 6 und 7 stellen einmalige Festlegungen dar, die im Rahmen der Methodenentwicklung geleistet wurden und in künftigen Anwendungen der Methode übernommen werden können.

3.3 Zentrale methodische Aspekte

3.3.1 Indikatoren

Die Auswirkungen des Klimawandels werden mit Hilfe von Indikatoren gemessen. Ziel der Indikatorentwicklung ist die Zusammenstellung einer handhabbaren Zahl von Indikatoren, mit denen die Auswirkungen des Klimawandels in den betrachteten Wirkungsbereichen möglichst gut abgebildet werden können. Dabei ist darauf zu achten, dass die wichtigsten Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft abgedeckt werden.

Indikatorentwicklung

Generell werden hier Indikatoren als geeignet erachtet, in denen konkrete, zu erwartende Auswirkungen von Klimaänderungen gemessen werden können (z.B. Sachschäden durch klimatisch begünstigte Naturgefahren). Diese Auswirkungen sollten weitgehend durch den Klimawandel beeinflusst sein.¹¹⁾

Anforderungen an Indikatoren

Die Indikatoren müssen zudem folgende Eignungskriterien erfüllen:

Eignungskriterien

- repräsentativ für die Auswirkungen in allen Wirkungsbereichen
- quantifizierbar
- bewertbar („gut oder schlecht?“)
- möglichst aggregierbar mit anderen Indikatoren (monetarisierbar)
- Daten sind verfügbar oder Abschätzung ist möglich (zumindest ansatzweise, Unsicherheiten können jedoch sehr gross sein)

In Tabelle 2 ist der hier entwickelte Indikatorsatz dargestellt. Informationen zur Herleitung und eine detailliertere Beschreibung der Indikatoren finden sich in Anhang A1.

Indikator	Einheit	Bemerkungen
Wirtschaft	Mehrerträge	in Fr. Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte zusätzlich anfallen
	Mindererträge	in Fr. Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte wegfallen
	Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr. Schäden an Sachwerten, nicht jedoch an Konsumgütern/Produkten (diese werden bei Erträge berücksichtigt)

Tabelle 2
Indikatorsatz

11) Auswirkungen, die möglicherweise durch den Klimawandel ermöglicht werden, die aber aus ganz anderen Gründen tatsächlich realisiert werden (z.B. Ermöglichung oder Ausweitung von Siedlungen in Regionen mit bisher ungünstigen Klimabedingungen, Stichwort „Wohnortgewinn“), werden hier nicht berücksichtigt, da eine klare Zuordnung zur Klimaänderung nicht gegeben ist. Dies betrifft viele positive Wirkungen der Klimaänderung (Chancen), da sie zwar ermöglicht werden, aber erst durch Aktivitäten genutzt werden, die wiederum als Anpassungs-Massnahmen zu bewerten sind.

	Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	Zusätzliche oder eingesparte Kosten, um bei Naturereignissen oder Entwicklungen einen Zustand oder ein Ziel der Wirtschaft oder der Gesellschaft im üblichen bzw. notwendigen Umfang erreichen zu können (z.B. Versorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs).
	Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	Anzahl Hitzetage (max. Temperatur >30°C) x Anzahl von Hitzetagen negativ betroffene Personen
	Kältebetroffene	Anzahl Personen-Eistage	Anzahl Eistage (max. Temperatur <0°C) x Anzahl von Eistagen negativ betroffene Personen
	Evakuierte	Anzahl	Anzahl Personen, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte evakuiert werden müssen.
Gesellschaft	Durch Schadenereignis Betroffene	Anzahl	Anzahl Personen, die durch persönliche Betroffenheit durch das Ereignis geschockt sind, Sachschäden erleiden und diese bewältigen müssen. Es geht um die nicht-finanziellen Auswirkungen durch Verlust von Fahrhabe mit hohem ideellem Wert (z.B. Erbstücke oder Fotos.) sowie durch Arbeiten zur Bewältigung (z.B. Reinigungsarbeiten nach Übersarung).
	Durch Siedlungsflächenverlust Betroffene	Anzahl	Anzahl Personen, die infolge eines Siedlungsflächenverlustes dauerhaft ihren Wohnort wechseln müssen.
	Arbeitsplatzverlust	Anzahl	Anzahl Personen, die aufgrund von Effekten der Klimaänderung ihren Arbeitsplatz verlieren.
	Arbeitsplatzgewinn	Anzahl	Anzahl Personen, die einen Arbeitsplatz erhalten, der durch Effekte der Klimaänderung neu entsteht.
	Verletzte & Erkrankte	Anzahl	Alle Verletzungs- oder Krankheitsfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden.
	Tote	Anzahl	Alle Todesfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden.
Umwelt	Artenvielfalt	Qual. Klassen	Veränderung der Artenvielfalt und der Artenzusammensetzung
	Fläche der wertvollen Biotope	Qual. Klassen	Veränderung der Lebensraum-Vielfalt und der Fläche wertvoller Biotope

Qualitative Bewertung von
Umweltindikatoren

Die Auswirkungen von klimatischen oder sozioökonomischen Veränderungen auf die einzelnen Indikatoren sollen in Anwendungen der Methode quantitativ bestimmt werden. Eine Ausnahme stellen in diesem Zusammenhang die Umweltindikatoren dar, die sich auf Veränderungen der Biodiversität beziehen. Da eine quantitative Abschätzung dieser Indikatoren kaum möglich ist, sollen sie grob einer von mehreren Bewertungsklassen zugeordnet werden. Dazu werden für die Indikatoren „Artenvielfalt“ und

„Fläche wertvoller Biotop“ folgende qualitative Bewertungsklassen anhand der beiden folgenden (semiquantitativen) Merkmale definiert:

Indikator	Ausprägung	Wert
„Artenvielfalt“ bzw. „Fläche wertvoller Biotop“	Starke Abnahme (>15%):	-2
	Mittlere Abnahme (5% – 15%):	-1
	geringe Veränderung (+/- 5%):	0
	Mittlere Zunahme (5% – 15%):	1
	Starke Zunahme (>15%):	2

Tabelle 3
Qualitative Bewertungsklassen
für die Umweltindikatoren

Falls eine Aggregation zu einer Gesamtbewertung der Umweltindikatoren zweckmässig ist, so kann diese wie folgt vorgenommen werden:

- Mittelwertbildung der einzelnen Bewertungen der berücksichtigten Merkmalsausprägungen
- Beurteilung:
 - 1.2 bis -2: starke Reduktion der Biodiversität
 - 0.4 bis -1.2: reduzierte Biodiversität
 - 0.4 bis 0.4: unveränderte Biodiversität
 - 0.4 bis 1.2: erhöhte Biodiversität
 - 1.2 bis 2: starke Erhöhung der Biodiversität

Möglichkeit der Aggregation von
Umweltindikatoren

3.3.2 Monetarisierung

Sollen die Risiken über alle Indikatoren aggregiert werden, müssen „Grenzkosten“ zur Monetarisierung der einzelnen Indikatoren definiert werden. Dies ist die üblichste Art, unterschiedliche Auswirkungen vergleichbar zu machen und zu aggregieren.

Monetarisierung mithilfe von
„Grenzkosten“

Für diesen Zweck werden die in Tabelle 4 dargestellten Grenzkostenansätze vorgeschlagen. Diese beruhen überwiegend auf bereits in anderen Studien verwendeten Grenzkosten, die z.T. auf Willingness-To-Pay-Studien zurückgehen. In diesem Fall wurden die in den Studien verwendeten Werte über einen Benefit Transfer auf die Verhältnisse in der Schweiz im Jahr 2010 übertragen, um von dort einen gerundeten Wert vorzuschlagen. Als Verfahren für den Benefit Transfer wird analog den Projekten ExternE (European Commission 2005) und UNITE (vgl. Nellthorp et al. 2001) der direkte Benefit Transfer mit Anpassungen an die Kaufkraft durchgeführt ("unit value transfer with income adjustment"). Dort, wo bisher keine vergleichbaren Monetarisierungs-Ansätze ermittelt werden konnten, wurden eigene Schätzungen vorgenommen. Für die Umweltauswirkungen „Artenvielfalt“ und „Fläche der wertvollen Biotop“ ist es zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zweckmässig, eine Monetarisierung vorzunehmen, da diese Schäden zu wenig mit den anderen vergleichbar sind und auch keine verallgemein-

Übertrag von Werten aus
anderen Studien
(Benefit Transfer)

erbaren empirischen Werte für Zahlungsbereitschaften oder Ähnliches verfügbar sind.

Tabelle 4:
Vorschlag Grenzkosten

	Indikator	Einheit	Vorschlag für Monetarisierung [in Fr.]
Wirtschaft	Mehrerträge	in Fr.	1:1
	Mindererträge	in Fr.	1:1
	Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr.	1:1
	Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	1:1
Gesellschaft	Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	50
	Kältebetroffene	Anzahl Personen-Eistage	10
	Evakuierte	Anzahl	10'000
	Durch Schadenereignis Betroffene	Anzahl	10'000
	Durch Siedlungsflächen- verlust Betroffene	Anzahl	100'000
	Arbeitsplatzverlust (soziale Dimension)	Anzahl	50'000
	Arbeitsplatzgewinn (soziale Dimension)	Anzahl	50'000
	Verletzte & Erkrankte	Anzahl	100'000
	Tote	Anzahl	5'000'000
Umwelt	Artenvielfalt	Qual. Klassen	Keine Monetarisierung
	Fläche der wertvollen Biotop	Qual. Klassen	Keine Monetarisierung

Die Herleitung dieser Werte ist in Anhang A2 dargestellt.

3.3.3 Jährliche Auswirkungen

Vergleichbarkeit von Ereignissen
und Entwicklungen

Es werden jeweils die jährlichen Auswirkungen der einzelnen Gefahren betrachtet (statt der Auswirkungen einzelner Ereignisse). So liegt ein definierter Betrachtungszeitraum vor und die Ergebnisse von Ereignissen können besser untereinander und mit denen von zeitlichen Entwicklungen verglichen werden.

Die Risiken und Chancen werden im Rahmen dieser Methode für unterschiedliche Zeitpunkte bestimmt (z.B. 2010 und 2050) und können direkt miteinander verglichen werden.

Vergleich von Risiken und Chancen pro Jahr und nicht über längeren Zeitraum: keine Diskontierung

Falls die Ergebnisse auf einen längeren Zeitraum bezogen werden sollten (z.B. Risiken und Chancen in den 40 Jahren von 2010 bis 2050)¹²⁾, könnten die Werte der entsprechenden Jahre aggregiert werden. Dabei ist jedoch die soziale Diskontierung zu klären (siehe z.B. Pearce et al. 2003).

3.3.4 Jährliche Variabilität und Aggregation

Mit der Methode sollen die klimabedingten Risiken und Chancen für das Jahr 2050 möglichst umfassend dargestellt werden können. Dazu gehören insbesondere folgende Aspekte, die im Folgenden näher beschrieben sind:

- Jährliche Variabilität der möglichen positiven oder negativen Auswirkungen (Verteilung) pro Gefahr oder Effekt (dies erfolgt mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen);
- Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen aller relevanten Gefahren oder Effekte für einen Wirkungsbereich oder den betrachteten Perimeter.

Jährliche Variabilität der Auswirkungen

Aggregation der Verteilungen für Wirkungsbereiche oder Regionen

Jährliche Variabilität der Auswirkungen

Bei einem Vergleich der Auswirkungen von klimarelevanten Gefahren und Effekten (vgl. 2.2) zu bestimmten Zeitpunkten (z.B. 2010 und 2050) interessieren nicht nur die mittleren jährlichen Auswirkungen. Betrachtet man Ereignisse innerhalb von beschränkten Gebieten, so haben Schäden oftmals Wiederkehrperioden von Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten. Daher sollte auch die jährliche Variabilität der Auswirkungen zu den betrachteten Zeitpunkten berücksichtigt werden.

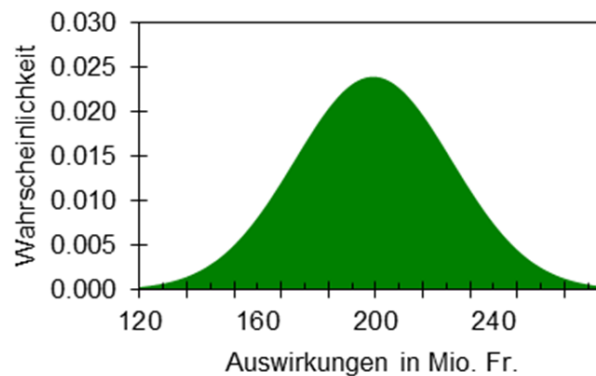
Bedeutung der jährlichen Variabilität

Die Risiken der einzelnen Gefahren werden deshalb mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) charakterisiert. Diese beschreiben die Wahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Ausmasse der jährlichen Auswirkungen pro Gefahr oder Entwicklung. In Abbildung 4 ist ein Beispiel einer solchen WDF angegeben. Angenommen, die WDF zeigt die klimabedingten Änderungen von Mehrerträgen im Tourismus aufgrund der Zunahme der Durchschnittstemperatur im Vergleich zum heutigen Zustand. Für jede Höhe von Auswirkungen kann die jeweilige Wahrscheinlichkeit abgelesen werden. In einem mittleren Jahr liegen die Auswirkungen bei 200 Mio. Fr. Die jährliche Variabilität reicht aber von ca. 120 Mio. Fr. in einem sehr ungünstigen Jahr bis zu ca. 280 Mio. Fr.

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen

12) nicht Gegenstand dieser Methodenentwicklung

Abbildung 4:
Exemplarische Darstellung einer
Wahrscheinlichkeitsdichte-
funktion (WDF)



Modellierung mit Monte-Carlo-
Simulationen

Als Grundlage für die Monte-Carlo-Simulation wird pro Gefahr eine WDF formuliert. Diese kann je nach Datenverfügbarkeit auf statistischen Daten oder auf Expertenschätzungen oder Plausibilitätsannahmen basieren. Direkte und exakte Schätzungen der WDF sind nicht möglich. Am besten werden „Ankerpunkte“ geschätzt, z.B. Mittelwert und Extremwerte sowie die Form der Verteilungsfunktion (auf Basis von Literaturwerten oder durch Experten geschätzt bzw. gutachterlich festgelegt). So lässt sich eine realistische WDF formulieren.

„Massgebender Indikator“

Da das Ausmass von klimabeeinflussten Ereignissen und Entwicklungen am ehesten anhand von charakteristischen Schadenstypen abgeschätzt werden kann (z.B. Summe der Gebäudeschäden oder Anzahl Todesopfer), ist es im Sinne einer Vereinfachung zweckmässig, das Ausmass der Auswirkungen in den Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (x-Achse) für einen „massgebenden Indikator“ abzuschätzen. Dies ist derjenige Indikator aus dem Indikator-Set (vgl. 3.3.1), der die Auswirkungen am besten repräsentiert. Die Auswahl des „massgebenden Indikators“ sollte durch Experten für die jeweilige Gefahr vorgenommen werden. Beispielsweise dominieren bei Hochwasserereignissen in flachem Gelände (tiefe Fließgeschwindigkeit) in aller Regel die Sachschäden an Gebäuden und Infrastruktur (oder ausserhalb von besiedelten Gebieten Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen), während Todesopfer oder Verletzte eher vereinzelt und zufällig auftreten und nicht für die Höhe der gesamten Hochwasserschäden repräsentativ sind.

Ereignisrisiken

Bei Ereignisrisiken wie z.B. Naturgefahren entspricht die WDF für kleinere Gebiete meist näherungsweise einer Exponentialverteilung (Jahresschaden Null hat die grösste Wahrscheinlichkeit, abnehmende Wahrscheinlichkeit mit zunehmendem Ausmass bis zu einem bestimmten Maximalwert). Die WDF von Ereignisrisiken lässt sich gut mithilfe von Ankerpunkten wie dem minimalen, dem maximalen Ausmass, dem Ausmass eines Beispielszenarios und der Form der Verteilungsfunktion abschätzen. Die Form der WDF hängt stark vom betrachteten Gebiet ab: je grösser dieses ist, desto mehr nähert sich die Schadenverteilung einer Normalverteilung an, da die klima-

bedingten Auswirkungen mit zunehmender räumlicher Distanz immer unabhängiger voneinander werden.¹³⁾

Bei Entwicklungsrisiken verändert sich der mittlere Zustand und damit der häufigste Wert für das Ausmass positiver oder negativer Veränderungen. Daher sind hier als Ankerpunkte für die Beschreibung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion das häufigste Ausmass, die Form der Verteilungsfunktion sowie das Minimum und das Maximum des möglichen Ausmasses relevant.

Entwicklungsrisiken

Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen

Die Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt zu einem Gesamtrisiko pro Wirkungsbereich oder betrachtetem Perimeter erfolgt in dieser Methode auf Basis der Monte-Carlo-Simulation. Damit ist es möglich, die WDF pro Gefahr und Effekt zu einer WDF für die aggregierten Auswirkungen pro Wirkungsbereich zusammen zu fassen.

Aggregation der Auswirkungen von Gefahren/Effekten

Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren (z.B. positive Korrelation von Hitzewelle und Waldbrand) lassen sich bei der Aggregation der zugehörigen WDF mit Hilfe von Monte-Carlo-Berechnungen berücksichtigen, indem man einen positiven Korrelationsfaktor zwischen den jeweiligen WDF abschätzt und bei den Berechnungen berücksichtigt.

Korrelationen

WDF für verschiedene Regionen können jedoch nicht ohne weiteres räumlich aggregiert werden, falls die Gefahren bzw. Effekte grossräumig (d.h. über die zu aggregierenden Regionen hinweg) räumlich korreliert sind. So können trockenheitsbedingte Schäden an der Landwirtschaft gesamtschweizerisch zu deutlich grösseren Schäden in einem einzelnen Jahr führen, als wenn die zugehörigen regionalen WDF unter der Annahme gegenseitiger Unabhängigkeit mittels Monte-Carlo-Simulationen aggregiert werden. Eine rechnerische Bestimmung der WDF für ein grosses Gebiet durch Aggregation der zugehörigen WDF für Teilgebiete ist nur in Ausnahmefällen möglich bzw. zweckmässig.

Keine Aggregation der WDF von Regionen

3.3.5 Vorgehen mithilfe von Beispielszenarien für Gefahren und Effekte

Bei Ereignisrisiken kann eine klimabedingte Veränderung der Risiken durch eine Veränderung der Intensität und damit des (Schadens-) Ausmasses von Ereignissen und/oder durch eine Veränderung der Häufigkeit von Ereignissen eintreten. Bei Entwicklungsrisiken kann eine klimabedingte Verände-

Veränderung der Risiken durch Veränderung von Häufigkeit und/oder Ausmass

13) So folgt beispielsweise die WDF für Schäden durch Hochwasser für eine kleine Gemeinde einer Exponentialverteilung mit hoher jährlicher Wahrscheinlichkeit für keine oder sehr geringe Hochwasserschäden und stetig abnehmender Wahrscheinlichkeit mit steigenden Hochwasserschäden. Betrachtet man ganz Mitteleuropa, so sind Jahre ohne Hochwasserschäden praktisch inexistent, mittlere Hochwasserschäden definitionsgemäss am häufigsten und stark überdurchschnittliche Hochwasserschadenssummen wieder seltener.

Vorgehen mithilfe von
Beispielszenarien

rung der Risiken durch eine Veränderung der natürlichen Varianz und durch eine Verlagerung der mittleren jährlichen Ausprägung auftreten.

Um die klimabedingten Veränderungen der Risiken möglichst einfach zu erfassen, wird folgendes Vorgehen gewählt:

1. Formulierung von Beispielszenarien pro Gefahr, z.B. zu einem konkreten Hochwasser:

Beispielszenario „Hochwasser“

Längere anhaltende Niederschläge verbunden mit einer hohen Nullgradgrenze über der Landschaft Davos und dem hinteren Prättigau sorgen für ein starkes Anschwellen der Landwasser, des Flüelabaches und anderer Seitenbäche der Landschaft Davos. Im Dorfbereich von Davos kommt es an vereinzelt Orten zu Überschwemmungen. 10 Kellergeschosse vor allem entlang der Landwasser stehen unter Wasser. An einigen Seitenbächen kommt es zu Verkläuerungen und damit zu einem Austreten der Bäche aus dem Gerinnebett. Die Wasser- und Geschiebemassen richten Sachschäden an.

2. Bei Gefahren (Ereignisrisiken) Abschätzen der Auswirkungen dieses Beispielszenarios, bei Effekten (Entwicklungsrisiken) Abschätzung der mittleren Auswirkungen pro Jahr für jeden Auswirkungsbereich und jeweils jeden relevanten Indikator (z.B. basierend auf Experteneinschätzungen oder Ereignisanalysen früherer Ereignisse; vgl. exemplarische Darstellung in Tabelle 5).

Tabelle 5:
Exemplarische Darstellung der
Auswirkungen eines
Beispielszenarios

	Indikator	Einheit	Auswirkungen eines Beispielszenarios A auf den Auswirkungsbereich X
Wirtschaft	Mehrerträge	in Fr.	keine
	Mindererträge	in Fr.	keine
	Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr.	5'000'000
	Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	2'000'000
Gesellschaft	Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	Für Auswirkungsbereich nicht relevant
	Kältebetroffene	Anzahl Personen-Eistage	Für Auswirkungsbereich nicht relevant
	Evakuierte	Anzahl	keine
	Durch Schadenereignis Betroffene	Anzahl	20
	Durch Siedlungsflächenverlust Betroffene	Anzahl	keine
	Arbeitsplatzverlust (soziale Dimension)	Anzahl	keine
	Arbeitsplatzgewinn (soziale Dimension)	Anzahl	keine
	Verletzte & Erkrankte	Anzahl	keine
	Tote	Anzahl	1
Umwelt	Artenvielfalt	Qual. Klassen	Für Auswirkungsbereich nicht relevant
	Fläche der wertvollen Biotope	Qual. Klassen	Für Auswirkungsbereich nicht relevant

3. Bestimmen der Jährlichkeit des Beispielszenarios unter heutigen klimatischen Rahmenbedingungen und Abschätzung der Jährlichkeit unter den berücksichtigten Klimaszenarien für die Gefahren (Ereignisse). Abschätzen der mittleren jährlichen Auswirkungen von Effekten für die Klimaszenarien bei Entwicklungs-Risiken.
4. Festlegen des massgebenden Indikators pro Gefahr/Effekt (vgl. 3.3.4)
5. Abschätzung des minimal (z.B. 1%-Quantil) und des maximal (z.B. 99%-Quantil) vorstellbaren jährlichen Ausmasses sowie des Verteilungstyps der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion.
6. Bestimmen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für den massgebenden Indikator pro Gefahr/Effekt für den heutigen Zustand. Dazu dienen als Ankerpunkte die Jährlichkeit und das Ausmass des Beispielszenarios, Näherungen des minimal und des maximal vorstellbaren jährlichen Ausmasses und der Verteilungstyp der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (vgl. Abbildung 5).

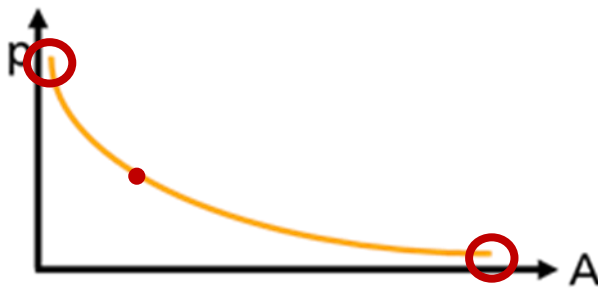


Abbildung 5
Bestimmung der WDF anhand
von Ankerpunkten

7. Ableiten der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion pro Gefahr/Effekt für jedes Klimaszenario.
8. Bestimmen der Zu- oder Abnahme der Risiken/Chancen anhand von Lageparametern (arithmetisches Mittel (Erwartungswert), Quantil (z.B. 90%-Quantil, also einer 10-jährlichen Auswirkung), sowie Streuungsparametern (Variationskoeffizient¹⁴⁾).

Die Veränderungen in den Risiken werden also sowohl durch die Berücksichtigung einer Veränderung der Eintretenshäufigkeiten, aber auch über mögliche Veränderungen der Extremwerte berücksichtigt.

14) Der Variationskoeffizient ist eine Normierung der Varianz. So kann die Streuung von Verteilungen mit unterschiedlichem Mittelwert direkt miteinander verglichen werden, was mit der Standardabweichung oder der Varianz nicht möglich ist. Die Formel lautet:

$$\text{Variationskoeffizient}(X) = \frac{\text{Standardabweichung}(X)}{\text{Mittelwert}(X)}$$

3.3.6 Repräsentative Standard-Verhältnisse für Indikatoren und Auswirkungsbereiche

Vereinfachende Annahmen Der vorgeschlagene methodische Ansatz geht vereinfachend davon aus, dass

- die Auswirkungen von einzelnen Ereignissen der gleichen Gefahr (z.B. Hochwasser) oder des gleichen Effektes (z.B. Trockenheit) in Bezug auf die relevanten Schadenindikatoren ähnlich sind;
- die Auswirkungen daher vereinfachend durch ein Standard-Verhältnis der Indikatoren abgebildet werden können und dieses in Bezug auf Klimaänderungen und sozioökonomische Veränderungen stabil ist;
- pro Gefahr oder Effekt die Auswirkungen über einen massgebenden Indikator modelliert werden können (vgl. 3.3.4).

Standard-Verhältnis für Indikatoren:
Verteilschlüssel I So können die gesamten Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt modelliert werden, indem die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für den „massgebenden Indikator“ mit dem gefahren- bzw. effektspezifischen Standard-Verhältnis „Verteilschlüssel I“ der indikatorspezifischen Auswirkungen verknüpft werden. Dieser Verteilschlüssel I lässt sich herleiten, indem für jeden Indikator die Auswirkungen eines repräsentativen Beispielerignisses über alle Auswirkungsbereiche aggregiert werden und so ein Standard-Verhältnis der indikatorspezifischen Auswirkungen entsteht.

Beispiel zur Veranschaulichung Dieser Mechanismus ist in Tabelle 6 exemplarisch dargestellt: Aufgrund einer Trockenheit reduzieren sich die Erträge in der Landwirtschaft um 5 Mio. Fr. (Mindererträge) und in der Energiewirtschaft um 2 Mio. Fr. Andere Auswirkungsbereiche sind nicht von einer Reduktion der Erträge betroffen, so dass insgesamt Mindererträge von 7 Mio. Fr. zu verzeichnen sind. Die direkten Kosten bestehen in der Reduktion des Wertes von Waldbeständen aufgrund von Borkenkäferbefall in Höhe von 1 Mio. Fr. Die Bekämpfung der Borkenkäfer und die höheren Kosten durch einen notwendigen Zukauf von Futtermitteln bei landwirtschaftlichen Betrieben mit Vieh belaufen sich auf gesamte indirekte Kosten in Höhe von 1 Mio. Fr. Der Verteilschlüssel I besteht aus dem für die Gefahr Trockenheit als repräsentativ angenommene Verhältnis von 1 Fr. direkte und 1 Fr. indirekte Kosten auf 7 Fr. Mindererträge.

Indikator	Einheit	Auswirkungen eines Beispielszenarios auf verschiedene Auswirkungsbereiche				
		Landwirtschaft	Wald	Energie	...	Summe / Verteilschlüssel I
Mehrerträge	in Fr.	-	-	-	...	-
Mindererträge	in Fr.	5'000'000	-	2'000'000	...	7'000'000
Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr.		1'000'000	-	...	1'000'000
Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	500'000	500'000	-	...	1'000'000
...
Summe / Verteilschlüssel A		5'500'000	1'500'000	2'000'000		

Tabelle 6
Exemplarische Darstellung der Herleitung der Verteilschlüssel I (grün umrandet) und A (rot umrandet) am Beispiel der Gefahr Trockenheit und den Wirtschaftsindikatoren

Werden die monetarisierten Auswirkungen eines repräsentativen Beispielszenarios pro Auswirkungsbereich über alle Indikatoren aggregiert, so kann aus dem Vergleich der aggregierten Auswirkungen zwischen den Auswirkungsbereichen ein gefahren-/effektspezifischer Verteilschlüssel A abgeleitet werden. So kommen am Beispiel der Tabelle 6 (unterste Zeile) auf 5.5 Mio. Fr. (monetarisiert und aggregiert über alle Indikatoren) negativer Auswirkungen in der Landwirtschaft 1.5 Mio. Fr. im Wald und 2 Mio. Fr. im Auswirkungsbereich Energie.

Standard-Verhältnis für
Auswirkungsbereiche:
Verteilschlüssel A

Die Verwendung der Verteilschlüssel „I“ und „A“ ist in Abbildung 6 exemplarisch dargestellt. Die Verteilschlüssel sind für die jeweilige Untersuchungsregion im Idealfall spezifisch festzulegen, da einerseits die Ausprägung bzw. Wirkung der Gefahr (z.B. Hochwasser in ebenem Gelände vs. über die Ufer tretender Wildbach in steilem Gelände, Temperatur während einer Hitzewelle in Abhängigkeit der Höhenlage) und andererseits die Merkmale der Untersuchungsregion in Bezug auf die Auswirkungsbereiche (z.B. Art der Landwirtschaft, Stellenwerte des Tourismus, Wertedichte von Gebäuden/Infrastruktur) in aller Regel unterschiedlich sind. Vereinfachend können aber für diesbezüglich vergleichbare Regionen, z.B. im Mittelland, auch bestehende Verteilschlüssel verwendet werden.

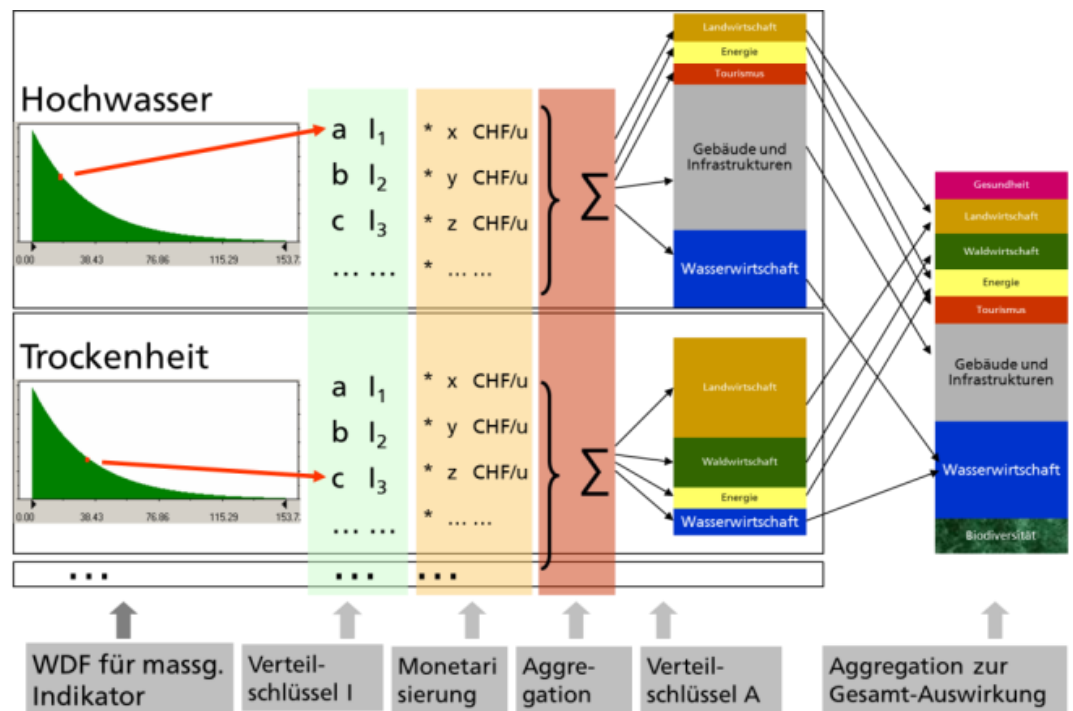
Verwendung der Verteilschlüssel

Verteilschlüssel spezifisch für
Untersuchungsregionen

Vereinfachend auch
Übertragung aus gut
vergleichbaren Regionen möglich

Mithilfe der beiden Verteilschlüssel und den gefahrenspezifischen WDF lassen sich in Monte-Carlo-Simulationen die klimabedingten Risiken und Chancen pro Auswirkungsbereich oder für einen betrachteten Perimeter modellieren und es kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung aller klimabedingten Risiken und Chancen ermittelt werden (Abbildung 6).

Abbildung 6
Exemplarische Darstellung der
Modellierung



3.3.7 Sensitivitätsanalysen

Test auf Robustheit der
Ergebnisse

Zwei Fragestellungen

Aufgrund der systemimmanent bedeutenden Unsicherheiten bei der Abschätzung der klimabedingten Risiken und Chancen ist es wichtig, mithilfe von Sensitivitätsanalysen zu analysieren, wie robust die Ergebnisse einer solchen Klimarisikoanalyse auf eine Veränderung von Parametern ist. Solche Sensitivitätsanalysen sollten im Hinblick auf folgende zwei Fragestellungen vorgenommen werden:

Robustheit bzgl. Annahmen

- Wie robust sind die Ergebnisse in Bezug auf eine Veränderung verschiedener Annahmen, die im Rahmen der Datenerfassung für eine Klimarisikoanalyse vorgenommen werden?

Robustheit bzgl. Szenarien

- Wie robust sind die Ergebnisse in Bezug auf eine Veränderung in den Klimaszenarien und den „non-climate scenarios“?

Wichtig ist bei der Darstellung der Ergebnisse von Klimarisikoanalysen auch die transparente Darstellung der Ergebnisse solcher Sensitivitätsanalysen.

3.4 Datenerfassung: Einbezug Expertenwissen

3.4.1 Erforderliches Expertenwissen

Arten von Expertenwissen

Für eine Klimarisikoanalyse ist Expertenwissen aus verschiedenen Bereichen zu berücksichtigen. Dies umfasst v.a. Informationen zu:

- Klimaszenarien für den Untersuchungsperimeter
- Sozioökonomische Szenarien für den Untersuchungsperimeter
- Direkte und indirekte Auswirkungen von Beispielszenarien (vgl. 3.3.5) auf die Wirkungsbereiche im Untersuchungsperimeter (qualitativ und soweit möglich quantitativ)
- Häufigkeiten der Beispielszenarien im Untersuchungsperimeter
- Jährliche Variabilität der Auswirkungen einzelner Gefahren oder Effekte im Untersuchungsperimeter unter heutigen und künftigen Klimaverhältnissen.

Vielfach sind erforderliche Daten oder Informationen für bestimmte räumliche Einheiten in bestehenden Statistiken (z.B. für Kanton oder Gemeinde), Datensätzen oder in der Literatur zu finden. Falls diese räumliche Einheit nicht dem Untersuchungsperimeter für eine regionale Klimarisikoanalyse entspricht, sollten Abschätzungen für den Untersuchungsperimeter auf Basis bestehenden Daten gemacht werden, z.B. durch Hochrechnung über Flächenangaben oder Bevölkerungsdichte. Dazu ist meistens der Beizug von Experten mit ausreichender Kenntnis der Verhältnisse im Untersuchungsperimeter vorteilhaft.

Für die Durchführung von Klimarisikoanalysen mit der hier dargelegten Methode ist vor allem in zwei Bereichen der Einbezug von Experten vorteilhaft. Zum einen betrifft dies die Abschätzung der Auswirkungen von Beispielergebnissen im Untersuchungsperimeter und zum anderen das Abschätzen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen pro Gefahr oder Effekt. Beide Bereiche werden im Folgenden weiter präzisiert.

Expertenwissen zu
Ausmassen und zu WDF

3.4.2 Auswirkungsbereichs-Experten: Verteilschlüssel I

Verschiedene Annahmen müssen in Abstimmung mit Experten der Wirkungsbereiche festgelegt werden:

- Dies betrifft zum einen die Auswahl der für den Wirkungsbereich relevanten Indikatoren aus dem Indikatorset. So sind zum Beispiel Indikatoren zur Beschreibung der Auswirkungen auf die Umwelt im Zusammenhang mit dem Wirkungsbereich Gesundheit nicht relevant. Eine solche Auswahl kann einmalig erfolgen und im Allgemeinen auf andere Anwendungen in der Schweiz übertragen werden. Eine Prüfung der relevanten Indikatoren ist jedoch empfehlenswert, da dies auch dem Verständnis der Abgrenzungen unter den Beteiligten dient.
- Für den jeweils untersuchten Perimeter sind auch die pro Wirkungsbereich relevanten Gefahren und Effekte zu bestimmen. Dies ist bei jeder Anwendung durchzuführen, da je nach Gegebenheiten bestimmte Gefahren oder Effekte relevant sein können oder nicht. Beispiele sind die Relevanz von Lawinen in Abhängigkeit von der Topographie oder von Hitzewellen in Abhängigkeit von der Höhenlage.

Bestimmen der relevanten
Indikatoren

Bestimmen der relevanten
Gefahren und Effekte

Bestimmen der Auswirkungen
von Beispielszenarien für
Ereignisse und Entwicklungen

- Für das Beispielszenario jeder relevanten Gefahr und jedes relevanten Effekts werden die Auswirkungen für die im Zusammenhang mit dem jeweiligen Auswirkungsbereich als relevant beurteilten Indikatoren beurteilt. Bei Ereignisrisiken sind die Auswirkungen für ein Beispielergebnis und dessen Jährlichkeit zu bestimmen. Zudem sind die minimal und maximal möglichen Auswirkungen unter den verschiedenen Klimaszenarien und sozioökonomischen Szenarien abzuschätzen. Bei Entwicklungsrisiken werden die Auswirkungen für mittlere Jahre abgeschätzt, sowie die Auswirkungen bei bestmöglicher und bei schlechtestmöglicher Ausprägung der Gefahr/des Effektes, jeweils für jedes Klimaszenario (Beispiel: Auswirkung einer Änderung im Temperaturregime für den Tourismus in Davos: schlechtestmöglich ist ein sehr kühler Sommer und ein sehr warmer Winter, bestmögliche Ausprägung ist ein sehr warmer Sommer und ein ausreichend kalter Winter).

Mithilfe dieser Informationen können wie in 3.3.6 beschrieben die gefahrenspezifischen Verteilschlüssel I hergeleitet werden.

3.4.3 Gefahren-/Effekt-Experten: Verteilschlüssel A

Andere Annahmen müssen in Abstimmung mit Experten für einzelne Gefahren und Effekte festgelegt werden. Dies betrifft v.a. folgende Annahmen, die eine Grundlage für die Festlegung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen darstellen:

Form der WDF

- Pro Gefahr oder Effekt ist die analytische Form (Verteilungstyp) der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion festzulegen. Eine solche Festlegung kann u.U. einmalig erfolgen und auf andere Anwendungen in der Schweiz übertragen werden. So folgen z.B. die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen vieler Gefahren für ein hinreichend kleines Gebiet einer Exponentialverteilung (z.B. Hochwasser), andere einer Log-Normalverteilung (z.B. Hitzewellen). Auch hier ist jedoch eine kritische Überprüfung im Hinblick auf die Anwendung im jeweiligen Untersuchungsperimeter empfohlen, da regionale Unterschiede möglich sind.

Häufigkeit des Beispielszenarios

- Für das Beispielszenario jeder Gefahr und jedes Effektes ist in Abstimmung mit Fachleuten die Häufigkeit in Form der Jährlichkeit unter heutigen und künftigen Klimabedingungen abzuschätzen.

Überprüfung der Minima und
Maxima

- Die in Abstimmung mit Auswirkungsbereichs-Experten festgelegten Minimal- und Maximalwerte für die Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt im Untersuchungsgebiet sollten mit den Gefahren/Effektexperten nochmals überprüft werden. Dazu sind die Minimal- und Maximalwerte über alle Auswirkungsbereiche zu aggregieren. Die Prüfung bezieht sich auch hier auf alle berücksichtigten Klima- und sozioökonomischen Szenarien.

3.4.4 Wege der Datenerfassung

Je nach Anforderungen an die Belastbarkeit der Ergebnisse und nach verfügbaren Ressourcen sind unterschiedliche Wege der Datenerfassung notwendig und möglich.

Abhängigkeit von Anforderung an Belastbarkeit und verfügbare Ressourcen

Um als Grundlage für die Umsetzung der nationalen Anpassungsstrategie des Bundes dienen zu können, wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

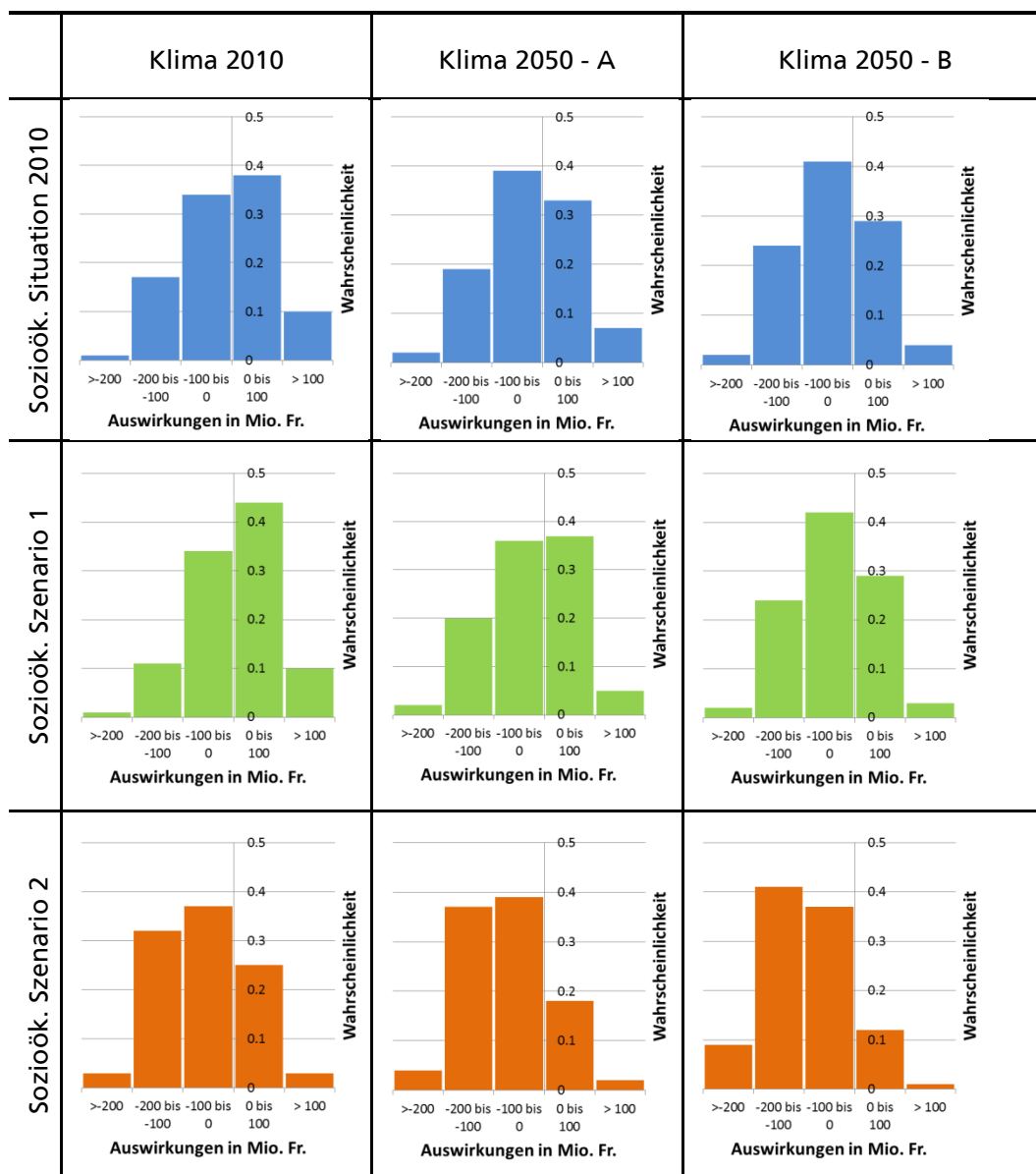
1. Identifikation der wichtigsten Wirkungen von Klimaänderungen auf den jeweiligen Auswirkungsbereich;
2. Entwicklung eines Vorschlages zur Abschätzung der Auswirkungen der einzelnen Gefahren/Effekte auf den jeweiligen Auswirkungsbereich;
3. Expertengespräch zur Diskussion der Auswirkungen und des Vorschlages zur Abschätzung sowie zu möglichen Datenquellen;
4. Datenerfassung, ggf. in Kooperation mit den Experten (u. a. statistische Auswertungen mit notwendigen Extrapolationen);
5. Abschätzung der Auswirkungen des jeweiligen Beispielszenarios (Berechnung) und Darstellung der Ergebnisse;
6. Einholen eines Feedbacks der Experten zur Abschätzung der Auswirkungen und zum Umfang der berechneten Auswirkungen;
7. Finalisierung der Abschätzungen.

3.5 Auswertungen und Ergebnisdarstellung

Mit dem beschriebenen Vorgehen (vgl. 3.3) ist für eine vorgegebene Region eine Modellierung der jährlichen Auswirkungen pro Gefahr/Effekt, Indikator und Auswirkungsbereich möglich, und dies für jede Kombination der berücksichtigten Klimazustände und der sozioökonomischen Zustände. Die quantitativen Ergebnisse lassen sich in Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der Auswirkungen darstellen und geben so ein Bild von der Variabilität der zu erwartenden Auswirkungen (vgl. exemplarische Darstellung in Tabelle 7).

Darstellung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen

Tabelle 7
Exemplarische
Ergebnisdarstellung



Angemessenheit der Darstellung

Bei den Darstellungen ist darauf zu achten, dass sie adäquat zu den vorliegenden Unsicherheiten zu wählen sind. So sollten die Verteilungsfunktionen eher in Histogrammen mit einer geringen Anzahl von Balken dargestellt werden als in differenzierten Kurven.

Vergleich von Kennwerten

Für den Vergleich der Ergebnisse zu den unterschiedlichen Kombinationen von Klimazustand und sozioökonomischem Szenario sind verschiedene Kennwerte geeignet. Empfohlen wird ein Vergleich des arithmetischen Mittels (Erwartungswert), von Quantilen (z.B. 10%- und 90%-Quantil, also einer Auswirkung, die alle 10 Jahre über- oder unterschritten wird) und des Variationskoeffizienten (vgl. Fussnote 14).

Wichtig sind die Durchführung von Sensitivitätsanalysen und deren transparente Darstellung. Es sollte deutlich ersichtlich werden, wie robust die Ergebnisse bei Variation unsicherer Parameter bzw. bei Variation unsicherer Annahmen in den Klimaszenarien oder den sozioökonomischen Szenarien sind.

Durchführung und transparente
Darstellung von
Sensitivitätsanalysen

4 Pilotanwendung: Fallstudie Davos

4.1 Beschreibung der Fallstudienregion

Als Fallstudienregion wird die Gemeinde Davos gewählt, weil hier zum einen die Datenlage aufgrund der Arbeiten des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF schweizweit vergleichsweise gut ist. Zum anderen können in Davos alle untersuchten Auswirkungsbereiche behandelt werden (Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Infrastruktur und Gebäude, Wasserwirtschaft und Biodiversität). Ebenfalls sind in Davos Aussagen über die wesentlichen Gefahrenbereiche, also gravitative und hydrologische/meteorologische Naturgefahren möglich. Insgesamt handelt es sich in Davos aufgrund der Lage in den Alpen um eine spezielle naturräumliche Situation (Höhenlage etc.) mit z.T. grossen Unterschieden z.B. zur Situation im Mittelland.

Auswahl der Fallstudienregion
und Begründung

Davos liegt auf 1'560 m über Meer und ist mit 11'248 Einwohnern (31.12.2009) die höchstgelegene Stadt Europas. Davos ist mit 284 km² die flächengrösste Gemeinde der Schweiz. Zum 1.01.09 wurde Davos mit der Gemeinde Wiesen GR fusioniert und um 29 km² erweitert. Gemäss Arealstatistik sind nur 2.2 % der Gemeindefläche Siedlungsfläche (2006, bezogen auf die Gemeindefläche vor der Fusion); 41.0 % sind unproduktive Fläche, 37.1 % Landwirtschaftsfläche und 19.7 % Wald und Gehölz.

Charakterisierung der
Fallstudienregion:
Fläche

Davos umfasst sechs Ortsteile: Davos Dorf (inkl. Flüelatal, Siedlung Wolfgang, Weiler Laret), Davos Platz (inkl. Dischmatal), Frauenkirch (inkl. Sertigtal), Glaris, Monstein und Wiesen. Die beiden grössten Ortsteile Dorf und Platz liegen im oberen Talabschnitt und sind mittlerweile zu einem etwa 4 km langen Siedlungsband zusammen gewachsen. Die Ortsteile Frauenkirch, Glaris und Monstein bilden zusammen den so genannten Unterabschnitt. Über das gesamte Gemeindegebiet verstreut liegen zahlreiche Einzelhöfe und Alpen.

Ortsteile

Landschaftlich umfasst die Gemeinde Davos den grössten Teil des Landwassertals und ragt über die Wasserscheide des Wolfgangpasses (1'631 m) 2 km ins Prättigau. Im oberen, fast ebenen Talabschnitt sind der Davosersee und die drei etwa 10 km langen Seitentäler Flüela, Dischma und Sertigtal die markantesten Seitentäler. Der untere Talabschnitt ab Sertigtal ist schmaler und fällt bis zur Gemeindegrenze um 300 m ab. Die höchsten Berge im Gemeindegebiet liegen entlang der Grenze zum Engadin und Albulatal: Flüela Schwarzhorn (3'147 m), Flüela Wisshorn (3'085 m), Piz Grialetsch (3'131 m), Chüelalphorn (3'078 m) und Hoch Ducan (3'063 m). Der tiefste Punkt im Gemeindegebiet ist Brombenz mit 1'260 m.

Landschaft

Wirtschaftsbereiche	Der Tourismus ist in Davos der wichtigste Wirtschaftsbereich. Etwa 80 % der Beschäftigten arbeiten in tourismusabhängigen Dienstleistungen. Wichtigstes produzierendes Gewerbe ist das Baugewerbe. Landwirtschaft wird oft im Nebenerwerb betrieben. Davos ist seit dem 19. Jahrhundert Luftkurort und Standort verschiedener Hochgebirgskliniken und Sanatorien. Weiter ist Davos Standort internationaler Kongresse und Tagungen (u.a. Weltwirtschaftsforum). Jährlich werden in Davos 2.3 Mio. Nächtigungen verzeichnet. Davos verfügt über rund 24'000 Betten (davon 5'200 Betten in 60 Hotels und Pensionen, 16'100 Betten in Ferienwohnungen oder Privatzimmern, 2'200 Betten in Gruppenunterkünften und 550 Betten in Kliniken).
Verkehr	Zu den wichtigen Schienenverbindungen nach Davos gehört die Bahnlinie von Landquart über Klosters und weiter nach Filisur oder durch den Vereinatunnel nach Sgütsch und Scuol. Auf dem Gemeindegebiet Davos liegen acht Bahnhaltepunkte; davon sind Davos Platz und Davos Dorf die wichtigsten. Die Rhätische Bahn bedient Davos im Stundentakt. Die Verkehrsbetriebe Landschaft Davos betreiben ein Ortsbusnetz mit elf Linien. Ausserdem ist Davos mit dem Postauto über Alvaneu und Lenzerheide mit Chur verbunden. Wichtige Strassenverbindungen sind vom Prättigau über den Wolfgangpass, vom Engadin über den Flüelapass und von Chur über Lenzerheide bis nach Davos.
Wasserver- und -entsorgung, Stromversorgung	Das Davoser Trinkwasser besteht aus reinem Quellwasser und wird weder behandelt noch mit irgendwelchen Zusätzen versehen. Es stammt aus über 200 gefassten Quellen in neun Quellgebieten. 50 km lange Leitungen transportieren das Wasser von den Quellen bis ins Ortszentrum. In Davos gibt es fünf Abwasserreinigungsanlagen (Laret, Gadenstatt, Glaris, Montein und Wiesen). Die Stromversorgung erfolgt durch das Elektrizitätswerk Davos AG, zu 100 % in Besitz der Gemeinde Davos.

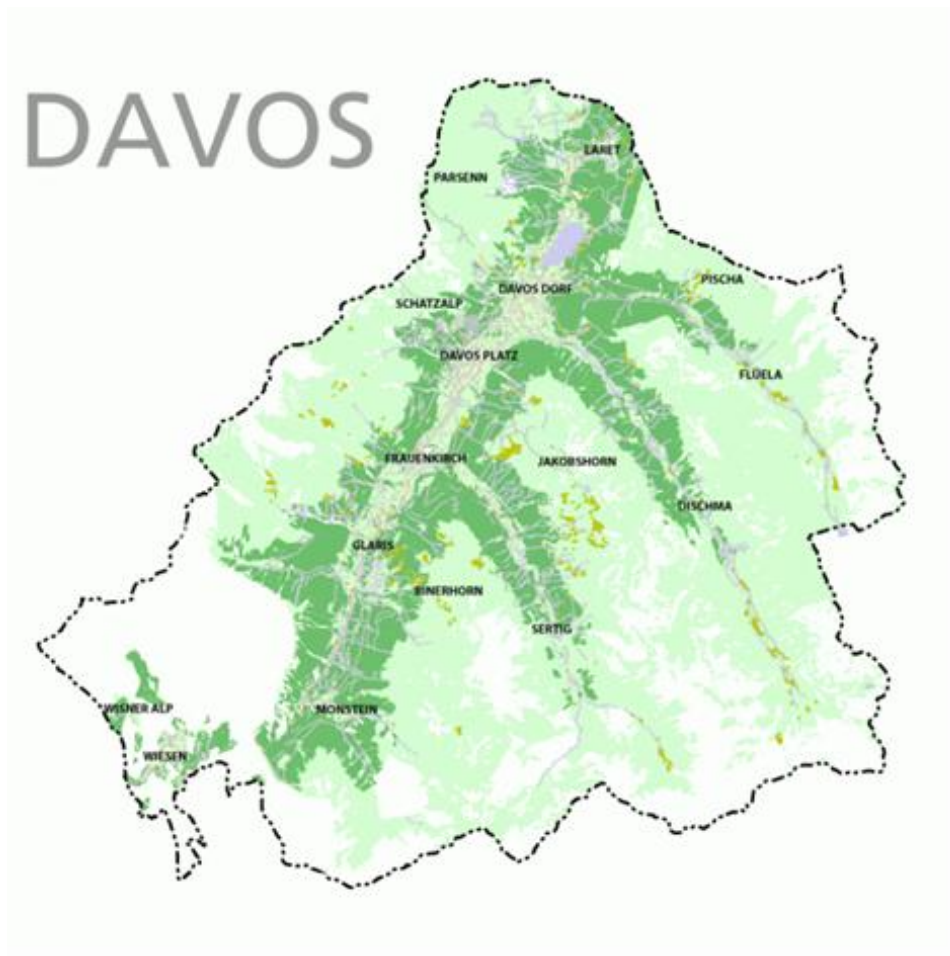


Abbildung 7
Karte der Gemeinde Davos
(Quelle: Gemeinde Davos)

4.2 Pilotanwendung

4.2.1 Vorgehen

Für die Datenerhebung in der Fallstudie wurde ein stark expertenbasiertes Vorgehen gewählt. Das Vorgehen gliederte sich in folgende Schritte:

Expertenbasiertes Vorgehen

- Zusammenstellung der Klimaszenarien (vgl. Anhang A4)
- Entwicklung eines sozioökonomischen Szenarios¹⁵⁾ (vgl. Anhang A4)
- Interviews mit Experten der Auswirkungsbereiche
- Interviews mit Experten der Gefahren/Effekte.

15) Da es sich bei der Fallstudie um einen Test der Methode handelt und nicht die Ergebnisse für das Fallstudiengebiet im Vordergrund standen, wurde in der Fallstudie mit einem sozioökonomischen Szenario gearbeitet. In künftigen Anwendungen, bei denen die Ergebnisse im Vordergrund stehen, sollten mindestens zwei sozioökonomische Szenarien verwendet werden, um einen möglichen Zukunftsraum aufzuspannen.

Interviews mit
Auswirkungsbereichs-Experten

Für jeden der acht Auswirkungsbereiche wurden an einem gemeinsamen Termin jeweils zwei bis drei Experten interviewt. Die Experten wurden so ausgewählt, dass jeweils einer gute lokale Kenntnisse des Bereiches hatte und einer einen ausgeprägten wissenschaftlichen Hintergrund im Bereich hatte. In den Interviews wurden primär folgende Themen behandelt:

- Relevante Gefahren/Effekte
- Relevante Indikatoren
- Informationen zu den Risiken von Gefahren/Effekten
- Feedback zur vorgängig verschickten Beschreibung der qualitativen Beschreibungen der allgemeinen Auswirkungen des Klimawandels für den Auswirkungsbereich für die Schweiz (vgl. 2.4) und im Fallstudiengebiet Davos (siehe A4).

Interviews mit Gefahren/Effekt-
Experten

Die Gefahren und Effekte wurden in eine Gruppe mit meteorologisch/hydrologischen Gefahren und Effekten sowie eine Gruppe mit gravitativen Gefahren aufgeteilt. Zu jeder Gruppe wurden (ebenfalls in einem gemeinsamen Termin, wie bei den Auswirkungsbereichs-Experten) mit zwei bis drei Experten Interviews geführt. In den Gefahren-/Effekt-Interviews wurden primär folgende Themen behandelt:

- Auswahl des „massgebenden Indikators“ pro Gefahr/Effekt
- Form der WDF
- Schätzung min. und max. Ausmass pro Gefahr/Effekt
- Schätzung Jährlichkeit des Beispielszenarios
- Schätzung Jährlichkeit bei anderen Szenarien (Klima- und sozioök.)

4.2.2 Erfahrungen

Positive Erfahrungen

Mit diesem Vorgehen konnten gute Ergebnisse bzgl. der relevanten Gefahren/Effekte (sowohl für das Fallstudiengebiet Davos als auch für die Schweiz insgesamt) und der relevanten Indikatoren (Davos / Schweiz) erreicht werden. Auch konnten die allgemeinen Auswirkungen der Klimaänderungen auf die einzelnen Auswirkungsbereiche gut diskutiert werden.

Herausforderungen

Eine Herausforderung stellten die Schätzungen der Auswirkungen pro Beispielszenario dar. Vielfach war eine solche Einschätzung nicht spontan möglich, zudem war der Umfang der notwendigen Schätzungen aufgrund vieler relevanter Gefahren/Effekte oft sehr gross. Schätzungen wurden so auch fast nur zu Situation heute vorgenommen, kaum zu den Veränderungen unter den Bedingungen des sozioökonomischen Szenarios.

Veränderung des Zieles der
Fallstudie:
qualitative Informationen und
Ansätze für Abschätzungen

Aufgrund dieser Erfahrungen wurde der Fokus ab dem dritten Auswirkungsbereichs-Interview stärker darauf gelegt, die für den jeweiligen Auswirkungsbereich relevanten Gefahren und Effekte zu identifizieren, die relevanten Indikatoren zu bestimmen und zu diskutieren, wie und auf

Grundlage welcher Daten eine quantitative Abschätzung der Auswirkungen pro gefahr- oder effektspezifischem Beispielszenario vorgenommen werden könnte. Eine solche Abschätzung erfolgte dann aus Ressourcen-Gründen nur für zwei solche Beispielszenarien und jeweils einen Auswirkungsbereich (vgl. 4.3.2).

Zum Test der vorgeschlagenen Modellierung der Risiken und Chancen wurde für zwei Auswirkungsbereiche und jeweils eine Gefahr eine solche exemplarische Abschätzung vorgenommen. Für diesen Test wurden sehr unterschiedliche Kombination aus Gefahr/Effekt und Auswirkungsbereich ausgewählt:

Exemplarisch quantitative Abschätzungen zum Test der Modellierung

Lawinen / Gebäude und Infrastrukturen:

- Ereignis-bezogen
- Gute Kenntnisse über Objekte (Gebäudeversicherung etc.)
- Gute Kenntnisse über Gefahr
- Klarer Zusammenhang Gefahr – Auswirkungsbereich

Änderung Temperaturregime / Tourismus:

- Entwicklungs-bezogen
- Komplexer Auswirkungsbereich
- Unsicherheiten über Entwicklung
- Unsicherer Zusammenhang Entwicklung - Auswirkungsbereich

Die vorgenommenen, exemplarischen Abschätzungen sind in 4.3.2 dargestellt. Für die Pilotanwendung liegen also zum einen qualitativen Ergebnisse zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gefahren und Effekte auf der einen und auf die Auswirkungsbereiche auf der anderen Seite vor. Ausserdem liegen quantitative exemplarische Abschätzungen vor, mit denen auch die Modellierung der Risiken und Chancen getestet wurde.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Auswirkungsbereichsbezogene Detailergebnisse

Die im Rahmen der Fallstudie erarbeiteten Ergebnisse zu den einzelnen Auswirkungsbereichen sind in Anhang A4 dargestellt. Es handelt sich dabei um:

Detailergebnisse pro Auswirkungsbereich im Anhang

- qualitative Beschreibungen der im Fallstudiengebiet zu erwartenden Auswirkungen pro Auswirkungsbereich
- die im Fallstudiengebiet pro Auswirkungsbereich relevanten Indikatoren und Gefahren/Effekte

4.3.2 Exemplarische Abschätzungen des Ausmasses von Beispielszenarien für je einen Auswirkungsbereich

Im Folgenden sind die exemplarischen quantitativen Abschätzungen der klimabedingten Auswirkungen des verwendeten Beispielszenarios einer Gefahr bzw. eines Effektes auf einen Auswirkungsbereich dargestellt (vgl. 4.2.2).

Lawine – Gebäude und Infrastrukturen

Beispielszenario Lawine

Das betrachtete Beispielszenario, für das die Auswirkungen auf den Auswirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen abzuschätzen waren, ist wie folgt definiert:

Beispielszenario Lawine

Intensive Schneefälle in mehreren aufeinander folgenden Niederschlagsperioden begleitet von heftigen Winden sorgen Mitte Februar zur Zeit der Sportferien für eine prekäre Lawinensituation mit Gefahrenstufe 5 an mehreren Tagen.

Die Züge der Rhätischen Bahn von Landquart nach Davos verkehren mit Verspätungen, jedoch meist planmässig. Die Nationalstrasse A28 ist ab Landquart schneebedeckt, in der Nacht und den frühen Morgenstunden wegen Verzögerungen in der Strassenräumung zum Teil nur einspurig befahrbar. An vereinzelten Punkten müssen einzelne Abschnitte aus Sicherheitsgründen gesperrt werden. Gäste und Einwohner werden zum Teil per Helikopter ausgeflogen.

Die Seitentäler der Landschaft Davos sowie die Zufahrt nach Davos-Monstein sind zeitweise aus Sicherheitsgründen gesperrt und von der Aussenwelt abgeschnitten. An exponierten Gebäuden sind Schäden durch Lawinen aufgetreten. Lawinen treten vereinzelt bis an den Rand der Kernsiedlungen von Davos auf. Die Bewohner von lawinengefährdeten Gebäuden haben Ausgangssperre, zum Teil müssen Bewohnerinnen und Bewohner evakuiert werden. Die Skigebiete müssen an mehreren Tagen ihren Betrieb einstellen.

Vorgehen

Das Schadenausmass für Personen und Sachschäden in Gebäuden und auf Verkehrswegen infolge eines Lawinenereignisses wurde durch Überlagerung der Lawinengefahrenkarten mit den Gebäuden und der Verkehrsinfrastruktur abgeschätzt. Die Grundlage für diese Abschätzung sind die Ergebnisse des Projekts „Integrales Lawinenmanagement (ILM) Davos“ (Guler et al., 2006). In diesem Projekt wurden die Gefahrenkarten mit der Landnutzung überlagert, um allfällige Schutzdefizite zu erkennen und Handlungsbedarf auszuschneiden. Da alle relevanten Lawinengebiete in die Studie einbezogen wurden, bietet das ILM für Davos eine sehr gute Grundlage für eine grobe Abschätzung der Risiken für Gebäude und Infrastrukturen infolge Lawinen.

Ergebnisse:
Schadenausmass

Unter der Annahme, dass nur jeder dritte Lawinenzug niedergeht und in die Gefahrengebiete eindringt und im roten Gebiet nur 5% der Gebäude und im blauen Gebiet nur 1% der Gebäude betroffen werden, ergibt sich unter Annahme einer Letalität im roten Gebiet von 0.4 und von 0.1 im blauen Gebiet (nicht-verstärkte Gebäude) ein Schadenausmass ohne organisatorische Massnahmen, wie Evakuierung und Sperrung, von 1 Toten pro Ereignis. Die Sachschäden an Gebäuden wurden mit rund 930'000 Fr. geschätzt.

Bezüglich den Auswirkungen auf Strasse und Schiene wurde unter der Annahme, dass nur jeder dritte Lawinenzug niedergeht und in die Gefahrengebiete eindringt und im roten Gebiet nur 5% der Streckenabschnitte und im blauen Gebiet nur 1% der Streckenabschnitte betroffen werden, Räumungskosten (Annahme Kosten pro Laufmeter (lm) von 300 Fr.) von rund 180'000 Fr./Ereignis abgeschätzt.

Unter den aktuellen Klimabedingungen wird diesem Szenario („Klima 2010“) eine Jährlichkeit von etwa 20 Jahren zugeordnet. Für das Klimaszenario 2050-A wird die Jährlichkeit konstant gelassen, für das stärkere Klimaszenario 2050-B, welches häufigere, stärkere Schneefälle mit entsprechender Lawinenaktivität zur Folge haben könnte, wird eine grössere Häufigkeit angenommen (Jährlichkeit von 10 Jahren).

Häufigkeit

Als sozioökonomische Szenarien wird die aktuelle Situation angenommen. Für das sozioökonomische Szenario 2050 wird eine Zunahme der Werte zwischen 2010 und 2050 von 30% angenommen.

Sozioökonomisches Szenario:
Wertzunahme

Details zur Herleitung und zu den Ergebnissen sind im Anhang A4 dargestellt.

Diese Abschätzungen bieten nur ein sehr grobes und vereinfachtes Bild, da auf die Besonderheiten der verschiedenen Lawinenzüge und der von ihnen gefährdeten Objekte nicht eingegangen werden kann. Trotz dieser starken Vereinfachung und der damit sehr pauschalen Aussagen ist für dieses räumlich differenzierte Vorgehen mit Betrachtung der einzelnen Lawinenzüge schon eine beträchtliche Datengrundlage erforderlich, da alle Gefahrenkarten und das gesamte Schadenpotential einschliesslich Anzahl Wohnbevölkerung als GIS-Grundlage vorhanden sein müssen. Eine solche quantitative Abschätzung des Schadenausmasses ist mit grosser Vorsicht zu interpretieren und allenfalls als Grössenordnung zu interpretieren. Für eine ausführlichere Darstellung dieser exemplarischen Abschätzung siehe Anhang A4.

Beurteilung der Ergebnisse

Zunahme Durchschnittstemperatur - Tourismus

Die Auswirkungen einer Zunahme der Durchschnittstemperatur auf den Tourismus im Fallstudiengebiet Davos werden im Folgenden sehr grob abgeschätzt. Aufgrund der sehr grossen Unsicherheiten von quantitativen Aussagen im Zusammenhang mit der Temperaturabhängigkeit touristischer Nachfrage sind die vorliegenden Überlegungen und Ergebnisse lediglich als mögliche Entwicklungen (Szenarien) zu verstehen. Ziel dieser Abschätzung ist, quantitative Daten als Grundlage für den Test der Modellierung der Risiken und Chancen zu erhalten. Dazu sind diese Daten geeignet. Sie dürfen jedoch nicht als Prognose der touristischen Nachfrage verstanden und verwendet werden.

Sehr grosse Unsicherheiten von quantitativen Aussagen zu Temperaturabhängigkeit touristischer Nachfrage
→ sehr grobe Abschätzung von Szenarien, keine Prognose

Da es sich bei diesem Effekt der Klimaänderung um eine (schleichende) Entwicklung handelt, werden hier die mittleren jährlichen Auswirkungen für die unterschiedlichen Klimazustände (heute und angenommene Klimas-

zenarien) und die jährliche Variabilität dieser Auswirkungen abgeschätzt (min., max. Wirkung pro Jahr; vgl. 3.3.5).

Mögliche Auswirkungen einer
Erwärmung auf Erträge

Im Folgenden werden mögliche Auswirkungen einer Änderung im Temperaturregime auf die Erträge im Tourismus betrachtet. Die mögliche Veränderung der Erträge wird über ein einfaches Modell abgeschätzt:

$$\text{Erträge} = \text{Anzahl Touristen-Tage} \times \text{mittl. Wertschöpfung pro Touristen-Tag}$$

Mögliche Ertragsänderungen im Winter

Besucherfrequenz und mittlere
Tagesausgaben

Die Besucherfrequenz (Anzahl Übernachtungen zzgl. Tagestouristen) im Winter beträgt rund 1.85 Mio. (vgl. Teich et al. 2007). Gemäss eigenen Berechnungen auf der Grundlage der Abschätzungen von Teich et al. (2007) betragen die mittleren Tagesausgaben von Wintertouristen 128 Fr. und die Wertschöpfung 88.25 Fr.

Annahme: bestehende
Wintertourismus-Nachfrage
bleibt erhalten

Davos gilt als schneesichere Wintersportdestination, auch bei den in den Klimaszenarien angenommenen mittleren Temperaturerhöhungen in den Wintermonaten um 1.5°C (Klimaszenario A) oder 2.5°C (Klimaszenario B). Aus diesem Grund werden vereinfachend keine klimabedingten Veränderungen der heutigen Besucherfrequenz bei den bereits heute Davos besuchenden Wintertouristen erwartet.

Begrenzte Zunahme der
Wintertouristen aus nicht mehr
schneesicheren Destinationen in
der östlichen Schweiz

Veränderungen sind jedoch aufgrund abnehmender Schneesicherheit tiefer liegender Wintersportdestinationen in der Ostschweiz zu erwarten. In Anlehnung an die Erkenntnisse von Bürki (2000) für Wintersportorte in der Zentralschweiz, die künftig vermutlich nicht mehr schneesicher sein werden, wird von folgenden Entwicklungen in vergleichbaren Wintersportorten in der Ostschweiz ausgegangen:

- 50% der Wintersportler wechseln an schneesicheren Ort, andere hören auf oder bleiben dem nicht mehr schneesicheren Wintersportgebiet treu.
- Gut ein Drittel der Skifahrer in diesen Skigebieten wird weniger oft fahren, wenn das Wintersportgebiet nicht mehr schneesicher ist.

Davos dürfte durch den klimabedingten Zulauf von Skifahrern von der abnehmenden Schneesicherheit der tiefer liegenden Wintersportgebiete nur in begrenztem Ausmass profitieren, da die Distanz zu diesen Skigebieten recht gross ist.

Annahmen für Veränderung der
Besucherfrequenz

Da Datengrundlagen für eine quantitative Herleitung der erwarteten klimabedingten Änderung der Besucherzahlen weitgehend fehlen, erfolgt die vorliegende Abschätzung auf Basis folgender Annahmen:

- Die Besucherfrequenz nimmt bis 2050 infolge einer Veränderung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen (u.a. der Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz) um 20% zu (vgl. sozioök. Szenario 2050 in Anhang A4).

- Es gibt zusätzlich eine Zunahme der Besucherfrequenz aufgrund der abnehmenden Schneesicherheit in tiefer liegenden Wintersportgebieten im in Tabelle 10 dargestellten Umfang.

	2010	2050 Klimaszenario A (+1.5°C in Wintermonaten)			2050 Klimaszenario B (+2.5°C in Wintermonaten)		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	0	0%	+5%	+10%	0%	+10%	+20%
Sozioök. Szenario 2050	+20%	+20%	+25%	+30%	+20%	+30%	+40%

Tabelle 8
Angenommene mittlere Zunahme der Besucherfrequenz aufgrund der abnehmenden Schneesicherheit in tiefer liegenden Wintersportgebieten

Es wird also von einer klimabedingten Zunahme der touristischen Nachfrage in einem mittleren Jahr von 5% bei Klimaszenario A und von 10% bei Klimaszenario B angenommen. Die jährliche, klimabedingte Variabilität wird bei Klimaszenario A mit +/- 5% angenommen, bei Klimaszenario B mit +/- 10%.

Unter Beachtung dieser Annahmen ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten möglichen Veränderungen der Wertschöpfung des Wintertourismus.

	2010	2050 Klimaszenario A (+1.5°C in Wintermonaten)			2050 Klimaszenario B (+2.5°C in Wintermonaten)		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	166	166	174	182	166	182	199
Sozioök. Szenario 2050	199	199	207	215	199	215	232

Tabelle 9
Angenommene Wertschöpfung durch Wintertourismus in Mio. Fr. in einem mittleren Jahr. Daten basieren auf Teich et al. (2007) und den genannten Annahmen

Zusammen mit der angenommenen Zunahme der touristischen Nachfrage im Rahmen des sozioökonomischen Szenarios von +20% bis im Jahr 2050 ergibt sich eine jährliche Variabilität der Wertschöpfung durch den Wintertourismus in der Gemeinde Davos im Jahr 2050 von 199 bis 215 Mio. Fr. (im Mittel bei 207 Mio. Fr.) bei Klimaszenario A und von 199 bis 232 Mio. Fr. (im Mittel 215 Mio. Fr.) bei Klimaszenario B.

Mögliche Ertragsänderungen im Sommer

Für den Sommertourismus gibt es Hinweise auf eine Zunahme der Übernachtungszahlen bei hohen Temperaturen in den Schweizer Ballungsräumen („Sommerfrische“; vgl. Serquet und Rebetez 2011). Aufgrund der recht grossen Distanz zu diesen Ballungsräumen sind jedoch in Davos eher geringe Zunahmen der klimabedingten Übernachtungszahlen zu erwarten.

Die Besucherfrequenz (Anzahl Übernachtungen zzgl. Tagestouristen) im Sommer beträgt rund 1 Mio. (vgl. Teich et al. 2007). Gemäss eigenen Berechnungen auf der Grundlage der Abschätzungen von Teich et al. (2007)

Annahme: begrenzte Zunahme des Sommertourismus („Sommerfrische“)

betragen die mittleren Tagesausgaben von Sommertouristen 135 Fr. und die Wertschöpfung 93 Fr. pro Tourist und Tag¹⁶⁾.

Annahmen für die Abschätzung

Da auch hier für eine quantitative Herleitung der erwarteten klimabedingten Änderung der Besucherzahlen die Datengrundlagen fehlen, erfolgt die vorliegende Abschätzung u.a. auf Basis folgender Annahmen:

- Die Besucherfrequenz nimmt bis 2050 infolge einer Veränderung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen um 20% zu (vgl. sozioök. Szenario 2050 in Anhang A4).
- Es gibt eine Zunahme der Besucherfrequenz aufgrund hoher Temperaturen in den Ballungsräumen im in Tabelle 10 dargestellten Umfang.

Tabelle 10
Exemplarische Annahmen über die Entwicklung der Besucherzahlen in Davos im Sommer in einem mittleren Jahr (mittel), sowie in klimatisch ungünstigen (min.) und sehr günstigen (max.) Jahren

	2010	2050 Klimaszenario A (+2°C in Sommermonaten)			2050 Klimaszenario B (+3.5°C in Sommermonaten)		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	0	0%	+5%	+10%	0%	+10%	+20%
Sozioök. Szenario 2050	+20%	+20%	+25%	+30%	+20%	+30%	+40%

Unter Beachtung dieser Annahmen ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten möglichen Veränderungen der Wertschöpfung des Sommertourismus.

Tabelle 11
Angenommene Wertschöpfung durch Sommertourismus in Mio. Fr. in einem mittleren Jahr (mittel), sowie in klimatisch ungünstigen (min.) und sehr günstigen (max.) Jahren. Daten basieren auf Teich et al. (2007) und den genannten Annahmen.

	2010	2050 Klimaszenario A (+2°C in Sommermonaten)			2050 Klimaszenario B (+3.5°C in Sommermonaten)		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	96	96	100	105	96	105	115
Sozioök. Szenario 2050	115	115	120	126	115	126	138

Zusammen mit der angenommenen Zunahme der touristischen Nachfrage im Rahmen des sozioökonomischen Szenarios von +20% bis im Jahr 2050 ergibt sich eine jährliche Variabilität der Wertschöpfung durch den Sommertourismus in der Gemeinde Davos im Jahr 2050 von 115 bis 126 Mio. Fr. (im Mittel bei 120 Mio. Fr.) bei Klimaszenario A und von 115 bis 138 Mio. Fr. (im Mittel 126 Mio. Fr.) bei Klimaszenario B.

16) Die höheren Werte im Vergleich zum Wintertourismus resultieren aus einem anderen Beherbergungsmix (vgl. Teich et al. 2007): Im Sommer ist der Anteil der Übernachtungen in 3 oder 4-5 Sterne-Hotels höher als im Winter, der Anteil der Tagesgäste ist dagegen im Winter höher.

Mögliche gesamthafte Auswirkungen

Gesamthaft ergeben sich unter Beachtung der genannten Annahmen die in Tabelle 12 dargestellten möglichen Veränderungen der Wertschöpfung.

	2010	2050 Klimaszenario A			2050 Klimaszenario B		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	261	261	274	287	261	287	313
	0	0	+13	+26	0	+26	+52
Sozioök. Szenario 2050	313	313	327	341	313	341	369
	+52	+52	+66	+80	+52	+80	+108

Tabelle 12
Angenommene Wertschöpfung und Wertschöpfungsänderung durch Sommer- und Wintertourismus in Mio. Fr. in einem mittleren Jahr (mittel), sowie in klimatisch ungünstigen (min.) und sehr günstigen (max.) Jahren. Die Veränderungen beziehen sich jeweils auf die heutige Situation. Daten basieren auf Teich et al. (2007) und den genannten Annahmen.

Basierend auf den in Teich et al. (2007) genannten Daten für das Jahr 2002 (Volkseinkommen: 619 Mio. Fr., Arbeitsplätze: 6420 Vollzeitäquivalente) wird ein regionales Volkseinkommen pro Arbeitsplatz in Höhe von rund 135'000 Fr. pro Jahr abgeleitet. Daraus ergeben sich die in Tabelle 13 dargestellten möglichen Veränderungen der Anzahl von Arbeitsplätzen im Zusammenhang mit den angenommenen Klimaszenarien und der angenommenen sozioökonomischen Entwicklung.

	2010	2050 Klimaszenario A			2050 Klimaszenario B		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
Sozioök. Situation 2010	0	0	97	193	0	193	387
Sozioök. Szenario 2050	387	387	491	594	387	594	802

Tabelle 13: Mögliche Veränderung der Arbeitsplätze im Tourismus in Davos aufgrund der angenommenen Zunahme der touristischen Nachfrage

Diese Zahlen stellen eine mögliche touristische Wertschöpfung in Davos im Jahr 2050 dar, wie sie unter den vorliegenden Annahmen zu erwarten wäre. Wie oben genannt handelt es sich dabei nur um ein mögliches Szenario und keine Prognose.

Mögliche touristische Wertschöpfung im Jahr 2050 (Szenario), keine Prognose

4.4 Exemplarische Modellierung der Risiken und Chancen

Zur Demonstration der Methode wurden die Risiken für die in 4.3.2 grob quantitativ abgeschätzten Auswirkungen von Lawinen auf den Auswirkungsbereich „Gebäude und Infrastrukturen“ und von einer Zunahme der Durchschnittstemperatur auf den Tourismus in Davos modelliert. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Formulierung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für die Auswirkungen der Gefahren/Effekte auf die massgebenden Indikatoren („Direkte Kosten/Sachschäden“ für Gebäude und Infrastrukturen und „Erträge“ für Tourismus):

Formulierung der WDF

- Lawinen: Hier wurde eine Beta-Verteilung so eingepasst, dass sie minimale Auswirkungen von 0 Fr. und maximale Auswirkungen von 20 Mio. Fr. hat. Dies entspricht den gemäss Experteninterview maximal vorstellbaren Gebäudeschäden durch Lawinen im Untersuchungsperimeter in einem Jahr. Für das Beispielszenario wurde ein Sachschaden von 0.93 Mio. Fr. ermittelt (vgl. 4.3.2) und im Interview mit den Gefahrenexperten eine Jährlichkeit von 20 Jahren geschätzt. Diese Angaben dienten ebenfalls als Ankerpunkt zur Festlegung der Parameter.
- Zunahme Durchschnittstemperatur: Hier wurden die Parameter einer Normalverteilung so gewählt, dass der Mittelwert den in 4.3.2 ermittelten mittleren Veränderungen der Tourismuserträge entspricht. Die jährliche, temperaturbedingte Variabilität der Tourismuserträge wurde mit +/- 20% angenommen. Dies wurde bei der Festlegung der Standardabweichung berücksichtigt.

Verteilschlüssel Indikator

- Lawinen: Aus dem Verhältnis der in 4.3.2 für das Beispielergebnis „Lawine“ ermittelten Sachschäden, indirekten Kosten (Räumungskosten) und Anzahl Todesopfer zueinander wurde ein entsprechender Verteilschlüssel definiert.
- Zunahme Durchschnittstemperatur: Hier wurden die Indikatoren Erträge und Arbeitsplatzgewinn bzw. -verlust betrachtet. Die erwartete Entwicklung für beide Indikatoren in Abhängigkeit von der Zunahme der Durchschnittstemperatur ist in 4.3.2 dargestellt. Die Erträge unterliegen zudem einer jährlichen Variabilität (s.o.). Die festen Arbeitsplätze im Tourismus hängen von den mittleren Entwicklungen über Jahre ab, nicht jedoch von jährlichen Schwankungen der Erträge (Annahme). Aus diesem Grund werden die Gesamtauswirkungen im Tourismus aus den Bestandteilen variabler Erträge und fixer Veränderungen der Arbeitsplätze pro Kombination der sozioökonomischen Situation und des Klimazustandes bzw. -szenarios modelliert.

Verteilschlüssel
Auswirkungsbereiche

- Verteilschlüssel für die Auswirkungsbereiche wurden nicht hergeleitet und verwendet, da Gefahren bereits getrennt nach Auswirkungsbereichen analysiert wurden.

Monte-Carlo-Simulation

- In einer Monte-Carlo-Simulation wurden die Auswirkungen von Lawinen auf die Gebäude und Infrastrukturen, sowie die Auswirkungen einer Zunahme der Durchschnittstemperatur auf den Tourismus für Davos für die unterschiedlichen sozioökonomischen und Klima-Zustände modelliert. Die Ergebnisse werden in Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für die Auswirkungen dargestellt.

Ergebnisse

Die Verteilungen der jährlichen Variabilität für „Lawinen/Gebäude und Infrastrukturen“ und „Zunahme Durchschnittstemperaturen/Tourismus“ sind in Tabelle 14 exemplarisch für die heutige Situation dargestellt (jeweils die linke, hellere Verteilung). Die Auswirkungen bei Eintritt des Klimaszena-

rios 2050 B und die angenommenen sozioökonomischen Verhältnisse im Jahr 2050 sind jeweils in der rechten, dunkler dargestellten Verteilung ersichtlich. Die Werte beziehen sich auf die jährlichen Auswirkungen im Vergleich zur heutigen Situation.

Bei den Auswirkungen von Lawinen auf Gebäude und Infrastrukturen zeigt sich eine Erhöhung des Erwartungswertes, der vor allem durch eine höhere erwartete Häufigkeit von Lawinenereignissen resultiert, von 1.2 Mio. auf 2.7 Mio. Fr.

Wirkung Lawinen auf Gebäude und Infrastrukturen

Bei den Tourismus-Erträgen zeigt die Darstellung eine jährliche Variabilität der heutigen Erträge in den meisten Jahren um rund +/- 22 Mio. Fr. (vgl. 10%- und 90%-Quantil). Bis ins Jahr 2050 werden die Tourismuserträge verglichen mit der heutigen Situation gemäss der exemplarischen Abschätzung im Mittel um rund +80 Mio. Fr. steigen, mit einer jährlichen Variabilität von +/- 28. Diese Zunahme wird gemäss 4.3.2 überwiegend durch die Annahmen im sozioökonomischen Szenario dominiert.

Wirkung Zunahme Durchschnittstemperatur auf Tourismus-Erträge

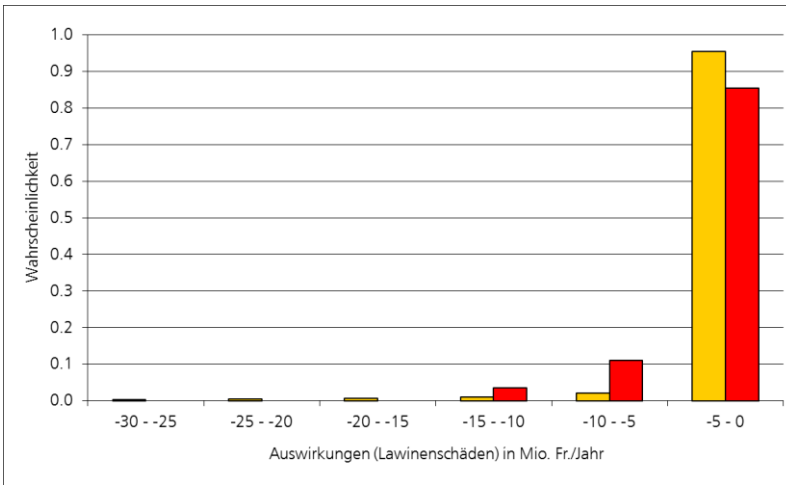
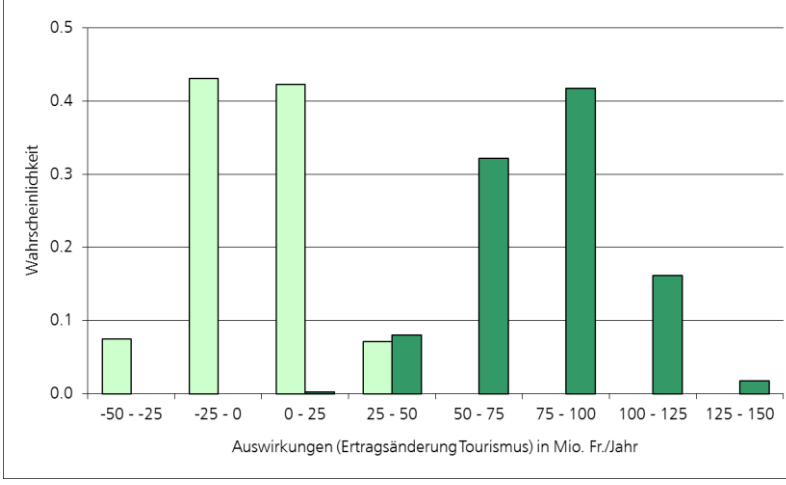
Aufgrund der vergleichsweise geringen jährlichen Auswirkungen von Lawinen auf Gebäude und Infrastrukturen und die hohe Bedeutung des Tourismus mit den damit verbundenen Erträgen für die Gemeinde Davos, ist hier die Aggregation der Risiken stark durch die Tourismuserträge dominiert.

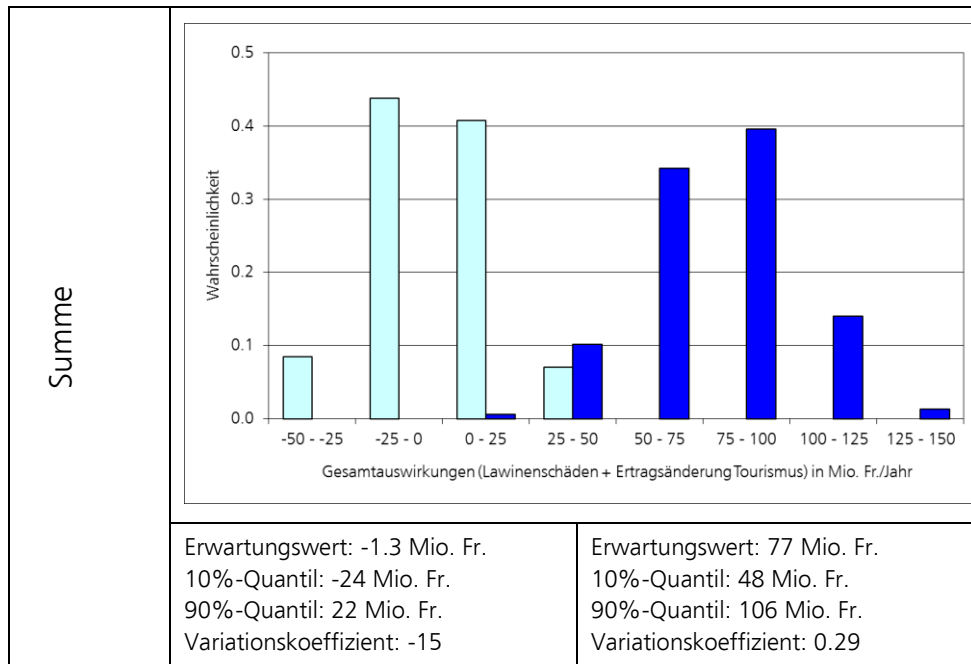
Aggregation

Die vorliegende exemplarische Darstellung und die dahinter stehende Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels demonstrieren die entwickelte Vorgehensweise. Je nach Anwendungszusammenhang sind andere Darstellungsformen sinnvoll und möglich.

Test von Darstellungsform und Modellierung, Variation möglich

Tabelle 14
Exemplarische Darstellung der Risiken von Sachschäden durch Lawinen und der Wirkung einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur auf die Tourismuserträge. Die Verteilungen für das Jahr 2010 sind jeweils hell dargestellt, die Verteilungen für das Jahr 2050 unter Berücksichtigung der Klimaänderung (Szenario B) und der sozioökonomischen Änderung ist dunkler dargestellt.

Auswirkungen von Lawinen auf Gebäude und Infrastrukturen	 <table><thead><tr><th>Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)</th><th>Wahrscheinlichkeit (2010)</th><th>Wahrscheinlichkeit (2050)</th></tr></thead><tbody><tr><td>-30 - -25</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>-25 - -20</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>-20 - -15</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>-15 - -10</td><td>0.01</td><td>0.02</td></tr><tr><td>-10 - -5</td><td>0.02</td><td>0.10</td></tr><tr><td>-5 - 0</td><td>0.95</td><td>0.85</td></tr></tbody></table>	Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)	Wahrscheinlichkeit (2010)	Wahrscheinlichkeit (2050)	-30 - -25	0.00	0.00	-25 - -20	0.00	0.00	-20 - -15	0.00	0.00	-15 - -10	0.01	0.02	-10 - -5	0.02	0.10	-5 - 0	0.95	0.85	<p>Erwartungswert: -1.2 Mio. Fr. 10%-Quantil: 0 Mio. Fr. 90%-Quantil: -1.4 Mio. Fr. Variationskoeffizient: -4.6</p>	<p>Erwartungswert: -2.7 Mio. Fr. 10%-Quantil: 0 Mio. Fr. 90%-Quantil: -7.6 Mio. Fr. Variationskoeffizient: -1.67</p>						
	Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)	Wahrscheinlichkeit (2010)	Wahrscheinlichkeit (2050)																											
-30 - -25	0.00	0.00																												
-25 - -20	0.00	0.00																												
-20 - -15	0.00	0.00																												
-15 - -10	0.01	0.02																												
-10 - -5	0.02	0.10																												
-5 - 0	0.95	0.85																												
Auswirkungen einer Zunahme der Durchschnittstemperatur auf den Tourismus	 <table><thead><tr><th>Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)</th><th>Wahrscheinlichkeit (2010)</th><th>Wahrscheinlichkeit (2050)</th></tr></thead><tbody><tr><td>-50 - -25</td><td>0.07</td><td>0.00</td></tr><tr><td>-25 - 0</td><td>0.43</td><td>0.00</td></tr><tr><td>0 - 25</td><td>0.42</td><td>0.00</td></tr><tr><td>25 - 50</td><td>0.07</td><td>0.08</td></tr><tr><td>50 - 75</td><td>0.00</td><td>0.32</td></tr><tr><td>75 - 100</td><td>0.00</td><td>0.42</td></tr><tr><td>100 - 125</td><td>0.00</td><td>0.16</td></tr><tr><td>125 - 150</td><td>0.00</td><td>0.02</td></tr></tbody></table>	Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)	Wahrscheinlichkeit (2010)	Wahrscheinlichkeit (2050)	-50 - -25	0.07	0.00	-25 - 0	0.43	0.00	0 - 25	0.42	0.00	25 - 50	0.07	0.08	50 - 75	0.00	0.32	75 - 100	0.00	0.42	100 - 125	0.00	0.16	125 - 150	0.00	0.02	<p>Erwartungswert: 0 Mio. Fr. 10%-Quantil: 22 Mio. Fr. 90%-Quantil: +22 Mio. Fr.</p>	<p>Erwartungswert: 80 Mio. Fr. 10%-Quantil: 52 Mio. Fr. 90%-Quantil: 109 Mio. Fr. Variationskoeffizient: 0.28</p>
	Auswirkungen (Mio. Fr./Jahr)	Wahrscheinlichkeit (2010)	Wahrscheinlichkeit (2050)																											
-50 - -25	0.07	0.00																												
-25 - 0	0.43	0.00																												
0 - 25	0.42	0.00																												
25 - 50	0.07	0.08																												
50 - 75	0.00	0.32																												
75 - 100	0.00	0.42																												
100 - 125	0.00	0.16																												
125 - 150	0.00	0.02																												



5 Methodentest für Städte und Siedlungen am Beispiel der Stadt Zürich

5.1 Ausgangslage und Vorgehen

5.1.1 Besonderheiten der Analyse in Städten und Siedlungen

Städte und Siedlungen weisen im Vergleich zum ländlichen Raum verschiedene Besonderheiten auf, die im Zusammenhang mit klimabedingten Risiken und Chancen von Bedeutung sein können. So führt die grossflächige Versiegelung zu einem Stadtklima mit höheren Temperaturen als in der Umgebung, so dass Hitzewellen hier noch höhere Temperaturen erreichen. Zudem ist die Bevölkerungsdichte sehr hoch, so dass viele Personen potenziell davon betroffen sind. Ein anderes Beispiel ist die hohe Wertekonzentration in Gebäuden, Infrastruktur und Fahrhabe, was z.B. bei Hochwasserereignissen in Städten zu besonders hohen Schadenwerten führen kann. Und auch das Schadenpotenzial an indirekten Schäden z.B. durch Ausfall von Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Hauptbahnhof Zürich) ist in Städten üblicherweise deutlich höher als im ländlichen Raum.

Besonderheiten urbaner
Regionen

5.1.2 Methodentest für Stadtregion am Beispiel der Stadt Zürich

Aufgrund der genannten Besonderheiten der Analyse in Städten und Siedlungen wurde die entwickelte Methode – begleitet und kofinanziert durch das Bundesamt für Raumentwicklung – auch im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit in Stadtregionen am Beispiel der Stadt Zürich getestet.

Methodentest für Stadtregion

Die Stadt Zürich wurde als Fallstudie ausgewählt, da hier bereits von der Stadt Zürich aus Abklärungen zum Stadtklima vorliegen und Ernst Basler + Partner die Möglichkeiten der Anpassung an den Klimawandel in Kooperation mit der Stadt Zürich untersucht hat und daher auch die vorhandene Datenlage günstig ist.

Auswahl der Stadt Zürich

Ziel des vorliegenden Tests der Methode ist eine Beurteilung von deren Eignung für die Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen in der Stadt Zürich und Empfehlungen für die ggf. notwendige Weiterentwicklung der Methode für andere Städte abzuleiten.

Ziel: Beurteilung der Eignung
und Empfehlungen ggf. zur
Weiterentwicklung

Dazu wird folgendes Vorgehen gewählt:

Vorgehensschritte

- Qualitative Methodenprüfung zur Beurteilung der Eignung der vorgeschlagenen Methode für die Anwendung in Städten und Siedlungen generell (kleiner Workshop mit Vertretern der Stadtverwaltung)
- Qualitative Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Zürich

- Test der Abschätzbarkeit der Risiken durch exemplarische Abschätzung wesentlicher klimabedingter Auswirkungen für die Stadt Zürich¹⁷⁾: Die Modellierung und Aggregation von Klimarisiken wurde für quantifizierte Risiken entwickelt, die Quantifizierung ist jedoch häufig schwierig. Aus diesem Grund sollte in exemplarischen Abschätzungen ermittelt werden, ob und wie eine quantitative Abschätzung der Risiken möglich ist. Ausgewählt wurden (u.a. auf Basis der qualitativen Analyse) die Auswirkungen von Hitzewellen (Gefahr/Effekt) auf die Gesundheit (Auswirkungsbereich) und von Hochwassern auf Gebäude und Infrastrukturen.
- Beurteilung der Eignung der Methode zur Anwendung für Städte und Siedlungen

5.2 Qualitativer Methodentest zur Anwendbarkeit der Methode in Städten und Siedlungen

Prüfung der Angemessenheit
von Gefahren/Effekten,
Auswirkungsbereichen und
Indikatoren im städtischen
Kontext

Im Rahmen des qualitativen Methodentests wurden die in der Methode vorgesehenen Gefahren und Effekte (vgl. 2.2), Auswirkungsbereiche (vgl. 2.3) und Indikatoren (vgl. 3.3.1) in einem kleinen Workshop mit Vertretern der Stadtverwaltung Zürich auf ihre Angemessenheit im städtischen Kontext überprüft. Dabei ging es nicht nur um eine Anwendbarkeit für die Stadt Zürich sondern auch um eine Übertragbarkeit auf andere Städte und Siedlungen in der Schweiz. Wichtige Hinweise zu diesen Themen wurden zuvor im Rahmen eines Interviews zum Querschnittsfeld Raumentwicklung mit je einer Vertreterin/eines Vertreters des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Amtes für Raumplanung Graubünden geführt.

Diskutierte Fragen

In dem Workshop wurden v.a. folgende Fragen diskutiert:

- Sind die gewählten Gefahren/Effekte, Auswirkungsbereiche und Indikatoren für eine Klimarisikoanalyse in der Stadt Zürich und generell in Stadtregionen geeignet?
- Fehlen welche bzw. müssten welche ergänzt werden? Braucht es eine Präzisierung für den städtischen Raum?
- Sind die Abgrenzungen der Auswirkungsbereiche geeignet?
- In welchem Auswirkungsbereich sind die im städtischen Kontext wichtigen Freiräumen und Grünflächen zu erfassen?

17) Im Rahmen des Methodentests war – wie auch in der Fallstudie Davos – aufgrund des Umfanges der dafür notwendigen Ressourcen keine vollständige, quantitative Klimarisikoanalyse mit der entwickelten Methode möglich. Für den Methodentest wurden daher wie in der Fallstudie Davos (vgl. 4.2.2 und 4.3.2) für zwei wichtige Auswirkungsbereiche die klimabedingten Auswirkungen jeweils einer Gefahr oder eines Effektes exemplarisch quantitativ abgeschätzt.

- Welche Auswirkungsbereiche oder Teilbereiche und welche Indikatoren sind in Stadtregionen besonders relevant, welche nicht?
- Mit welchen Indikatoren wären in Städten die durch die Klimaänderung negativ und positiv Betroffenen gut zu erfassen?
- Was sind pro Indikator die wichtigsten Auswirkungen im Zusammenhang mit Klimaänderungen in Städten?

Die Ergebnisse sind in Anhang A5 ausführlich dargestellt und werden zusammenfassend in der Beurteilung der Eignung der Methode für die Anwendung in Städten und Siedlungen in □ berücksichtigt.

Zusammenfassung Ergebnisse

5.3 Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Zürich

5.3.1 Qualitative Analyse der allgemeinen Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Stadt Zürich

Die Auswirkungen des Klimawandels in den Auswirkungsbereichen Infrastrukturen und Gebäude, Gesundheit, Tourismus, Siedlungswasserwirtschaft und Freiräume und Grünflächen wurden auf Basis von Literaturrecherchen und Experteninterviews zusammengestellt und qualitativ beschrieben. Da die Erkenntnisse vor einer Veröffentlichung noch verwaltungsintern abgestimmt und konsolidiert werden sollen, können sie im vorliegenden Bericht nicht dargestellt werden. Sie liegen dem Amt für Raumentwicklung und dem Bundesamt für Umwelt in einem internen Arbeitspapier vor.

Qualitative Beschreibung

In den qualitativen Analysen zeigt sich, dass die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit und von Hochwassern auf Gebäude und Infrastrukturen zu den bedeutendsten Risiken im Zusammenhang mit Klimaänderungen zählen. Daher wird die Abschätzbarkeit der diesbezüglichen Risiken im Folgenden getestet.

Auswahl von Hitzewellen und Hochwassern zum exemplarischen Test der Risiken

5.3.2 Auswirkungen von Hochwasser auf Gebäude und Infrastrukturen

In der folgenden exemplarischen Abschätzung klimabedingter Auswirkungen für die Stadt Zürich wird eine mögliche Änderung der Hochwasser-Risiken analysiert. Die Angaben beruhen wesentlich auf der Studie „Stadt Zürich Risikoanalyse Sihl-Hochwasser“ des Tiefbauamtes Zürich (TAZ 2011). Untersucht werden die Risiken für den Indikator Sachschäden (vgl. 3.3.1) für den Wirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen (vgl. 2.3).

Vorgehensschritte zur
Abschätzung der
Hochwasserrisiken 2050

Methodisches Vorgehen

Die Abschätzung der klimabedingten Veränderung der Hochwasserrisiken für die Stadt Zürich wird wie folgt vorgenommen:

1. Bestimmung der aktuellen Hochwasserrisiken (vgl. TAZ 2011)
2. Annahmen über Veränderung der Jährlichkeit von Hochwasserszenarien bei angenommenem Klimaszenario
3. Annahmen über die Veränderung der exponierten Werte im Rahmen des sozioökonomischen Szenarios
4. Grobkalkulation der erwarteten künftigen Hochwasserrisiken

Hochwasserrisiken gemäss
Risikoanalyse TAZ (2011)

Aktuelle Hochwasserrisiken

Die gemäss TAZ (2011) aktuellen Hochwasserrisiken für die Stadt Zürich sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15
Hochwasserrisiken für
das 300-jährliche (HQ 300) und
das 500-jährliche Hochwasser
(HQ 500) in der Stadt Zürich
(TAZ 2011)

	HQ 300 [Mio. CHF]	HQ 500 [Mio. CHF]
Gebäude	1'050.0	4'254.8
Schienenverkehr	391.5	948.6
Leitungsobjekte	64.9	138.6
Parkplätze inkl. Fahrhabe	58.1	333.5
Gesamt	1'564.5	5'675.5
Jährlichkeit	300.0	500.0
Durchschn. Risiko/Jahr	5.2	11.4
Durchschn. Gesamtrisiko/Jahr (Sachschäden)	16.6	

Sehr grosse Sachschäden bei HQ
300 und HQ 500

Im Mittel beträgt das jährliche Gesamtrisiko Hochwasser 16.6 Mio. Fr. Sachschäden. Dieser Erwartungsschaden ist allerdings eine theoretische Grösse, da Hochwasserschäden nicht jedes Jahr etwa in dieser Grössenordnung anfallen, sondern nur sehr selten, dafür aber mit umso grösseren Auswirkungen. So betragen die Sachschäden eines 300-jährlichen (HQ 300) bzw. 500-jährlichen Hochwassers (HQ 500) in der Stadt Zürich 1.56 bzw. 5.68 Mrd. Fr. Indirekte Schäden sind darin noch nicht enthalten.

Im Folgenden wird die Veränderung des Hochwasserrisikos im Rahmen der Klimaänderung und im Rahmen der Veränderung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen grob abgeschätzt.

Annahmen über die Veränderung von Jährlichkeit und exponierten Werten

Unsicherheiten bezüglich der
Jährlichkeit von Szenarien

Die Bestimmung der Jährlichkeit von Hochwasserszenarien ist aufgrund von klimatischen Veränderungen und aufgrund der geringen statistischen Datenbasis bereits für den aktuellen Zeitpunkt mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden. Eine Prognose der Veränderung von Jährlichkeiten für ein Klimaszenario ist nochmals deutlich unsicherer. Hier werden die ange-

nommenen Jährlichkeiten variiert, um eine Bandbreite der möglichen Entwicklung aufzuzeigen.

Jährlichkeit	Faktor	HQ 300 (2010)	HQ 500 (2010)
2010	-	300	500
2050 - mittel	0.67	200	333
2050 - min.	0.80	240	400
2050 - max.	0.33	100	167

Tabelle 16
Angenommene Jährlichkeiten
bei Klimaszenario 2050

Für die Entwicklung der bei den angenommenen Hochwasserszenarien exponierten Werte im Rahmen des sozioökonomischen Szenarios 2050 wird pauschal eine Wertzunahme um 50% angenommen.

Annahme: Zunahme exponierter
Werte bis 2050 um 50%

Grobkalkulation erwartete Hochwasserrisiken für das Jahr 2050

Aus den gegebenen Risiken und den getroffenen Annahmen über die Entwicklung der Jährlichkeiten und der Wertzunahme ergeben sich die in Tabelle 17 dargestellten Risiken.

	2010	2050 - mittel	2050 - min.	2050 - max.
Sozioök. Situation 2010	16.6	24.8	20.7	49.7
Sozioök. Szenario 2050	24.8	37.3	31.1	74.5

Tabelle 17
Erwartetes durchschnittl.
jährliches Hochwasserrisiko für
Zürich in Mio. Fr.

Schon bei einer klimabedingten Verringerung der Jährlichkeit von 300 auf 240 (HQ 300) bzw. von 500 auf 400 Jahre (HQ 500) ergibt sich für das sozioökonomische Szenario 2050 fast eine Verdoppelung der durchschnittlichen Gesamtrisiken pro Jahr von 16.6 auf 31.1 Mio. Fr. Bei Annahme einer starken klimabedingten Verringerung der Jährlichkeit von 300 auf 100 Jahre bzw. von 500 auf 167 Jahre, ergibt sich gar eine Vervierfachung des durchschnittlichen Gesamtrisikos pro Jahr auf 74.5 Mio. Fr. Je nach tatsächlicher Beeinflussung der Jährlichkeiten von Hochwassern in Zürich durch die Klimaänderung kann die klimabedingte Veränderung der Risiken als sehr bedeutend eingestuft werden.

Bedeutende klimabedingte
Veränderung der
Hochwasserrisiken

Weitere Erkenntnisse zu Naturgefahren-Risikoanalysen in Städten

Bei der Naturgefahr Hochwasser ist die Veränderung der Jährlichkeiten durch die Klimaänderung – wie auch bei den exemplarischen Abschätzungen des Lawinenrisikos in der Fallstudie Davos – nur schwer abzuschätzen. Grundlage für solche Abschätzungen wären im Idealfall hydrologische Modellierungen, die jedoch meist nicht verfügbar sind. Für andere in Städten und Siedlungen bedeutende Naturgefahren, wie z.B. Hagelschlag, sind Aussagen über die Veränderung der Jährlichkeit für eine breite Klimarisikolanalyse ebenfalls nur durch Expertenschätzungen zu erhalten. Dabei sollten Bandbreiten von Jährlichkeiten berücksichtigt werden, um dieser Unsicherheit gerecht zu werden.

Schwierige Abschätzung der
klimabedingten Veränderung
von Jährlichkeiten

Anpassung der
Schadenempfindlichkeiten in
EconoMe 2.1 notwendig

Neben der Ermittlung der Hochwasserrisiken wurde in TAZ (2011) auch die Anwendbarkeit von EconoMe 2.1, einem Instrument zur einheitlichen Beurteilung der Risikoreduktion und der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, für Stadtgebiete getestet. Die Studie zeigt auf, dass die Schadenempfindlichkeiten in EconoMe 2.1 für eine Anwendung im Stadtgebiet zu gering sind und entsprechend für vergleichbare Risikoanalysen angepasst werden sollten. Dies resultiert daher, dass die EconoMe-Standardwerte nicht für die besonderen Verhältnisse in Städten und Siedlungen entwickelt wurden. Bei der Analyse von (auch klimabedingten) Naturgefahren-Risiken in Städten und Siedlungen sollten daher bei Verwendung des verbreiteten Instrumentes EconoMe 2.1 die Standardwerte kritisch überprüft und ggf. an die speziellen Verhältnisse angepasst werden.

5.3.3 Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit

In der folgenden exemplarischen Abschätzung klimabedingter Auswirkungen für die Stadt Zürich wird eine mögliche Änderung der Hitzewellen-Risiken analysiert. Untersucht werden exemplarisch die mittleren jährlichen Risiken für den Indikator Todesopfer (vgl. 3.3.1) für den Auswirkungsbe- reich Gesundheit (vgl. 2.3).

Methodisches Vorgehen

Vorgehensschritte zur
Abschätzung der Risiken von
Todesfällen durch Hitzewellen
2050

Die Abschätzung der klimabedingten Veränderung von Todesfällen infolge Hitzewellen in der Stadt Zürich erfolgt in folgenden Schritten:

1. Bestimmung der aktuellen Risiken
2. Annahmen über Veränderungen der Häufigkeit von Hitzewellen bei angenommenem Klimaszenario
3. Annahmen über die Veränderung der exponierten Bevölkerung im Rahmen des sozioökonomischen Szenarios
4. Grobkalkulation der erwarteten Todesfälle infolge Hitzewellen

Aktuelle Gesundheitsrisiken von Hitzewellen

Referenzmodell: Hitzesommer
2003

Der Rekordsommer 2003 dient als Referenzmodell, um signifikante Unterschiede in der Alterssterblichkeit (der Sterbeziffer von über 64-Jährigen) zu untersuchen. Als Sommer werden die Monate Juni bis August 2003 analysiert.

Sommer- und Hitzetage

Im Hitzesommer 2003 lag in der Stadt Zürich die Zahl der Sommertage (Temperatur > 25° C) bei 73. Im Vergleich dazu lag die durchschnittliche Anzahl Sommertage in den 10 Jahren davor bei 33 Sommertagen (1993-2002). Die Zahl der Hitzetage (Temperatur > 30° C) lag bei 27 (1993-2002):

4.6 Tage).¹⁸⁾ Im Mittel war der Sommer 2003 rund 3°C wärmer als im Mittel der Jahre 1993-2003.

Im Vergleich mit dem eher kühlen Sommer 2002 wurden in der Stadt Zürich im Hitzesommer 2003 12.3% mehr Sterbefälle von älteren Personen registriert. Für die Jahre 1993 bis 2003 kann gezeigt werden, dass die Anzahl Sommertage (Temperatur > 25° C) einen signifikanten Einfluss¹⁹⁾ auf die Sterbeziffer der über 64-jährigen Personen hat. Die Anzahl Hitzetage (Temperatur > 30° C) hat bei Betrachtung der vorliegenden Daten keinen signifikanten Einfluss auf die Sterbeziffer.

Die mittlere Anzahl Todesfälle in den Jahren 1993-2003 wird in der folgenden Tabelle den Todesfällen im Hitzesommer 2003 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Anzahl der Todesfälle in den Sommermonaten des Jahres 2003 rund 10% über denen im Mittel der Jahre 1993-2003 liegen.

	Anzahl über 64-Jährige	Hitzesommer 2003			Ø 1993-2003			Altersquotient Stadt Zürich
		Juni	Juli	August	Juni	Juli	August	
Sterbeziffer		52.5	50.5	49.6	47.2	45.8	44.2	
Anzahl								
Todesfälle	64'274	3374	3246	3188	3034	2944	2841	28.2

Steigende Alterssterblichkeit bei aufeinanderfolgenden Sommertagen

Ca. 10% mehr Todesfälle im Sommer 2003

Tabelle 18
Sterbeziffer und Anzahl
Todesfälle in den
Sommermonaten von 2003 und
im Mittel der Jahre 1993-2003

Annahmen über Veränderung der Jährlichkeit und der Exposition

Entsprechen den angenommenen Klimaszenarien A und B für die Schweiz 2050 (vgl. Anhang A4) wird für die Stadt Zürich angenommen, dass ein normaler Sommer um das Jahr 2050 im Mittel 2°C (Klimaszenario A) bzw. 3.5°C (Klimaszenario B) wärmer sein wird.

Temperaturzunahme gemäss
Klimaszenarien A und B

Neben der klimatischen Änderung sind für die Abschätzung der hitzebedingten Alterssterblichkeit auch die Bevölkerungsentwicklung einerseits und die Veränderung des Altersquotienten andererseits relevant. Die regionale Bevölkerungsprognose für den Kanton Zürich²⁰⁾ geht von einer Zunahme der über 64-Jährigen in der Stadt Zürich von 64'274 Personen (2003) auf 68'559 (2025) und 74'170 (2030) aus.

Bevölkerungsentwicklung

Kalkulation Risiken 2050

Wird nun die Sterbeziffer der über 64-Jährigen aus dem Hitzesommer 2003 als Durchschnitt für einen Sommer in der Zukunft betrachtet und linear mit der absoluten Anzahl über 64-Jähriger der Stadt Zürich in Verbindung gebracht, so kann mittels dem prognostizierten Bevölkerungswachstum eine Abschätzung für die Anzahl der Todesfälle von über 64-Jährigen in den Sommermonaten in den Jahren 2025 und 2030 gemacht werden. Eine weitere Hochrechnung der z.T. unklaren Entwicklungen (Bevölkerung und Demographie) auf eine mögliche Situation im Jahr 2050 ergibt die in Tabelle 19 dargestellten, hitzebedingten Veränderungen von Todesfällen von

Entwicklung der
Alterssterblichkeit

18) Quelle: Statistik Stadt Zürich, Info 6/2004: Sommerhitze und Alterssterblichkeit

19) Signifikanzwert (Irrtumswahrscheinlichkeit): p=0.02

20) Statistik Kanton Zürich, 16.07.2010

Personen über 64 Jahre. Aufgrund der grossen Unsicherheiten über die Entwicklungen wird hier nicht mehr zwischen Klimaszenarien unterschieden.

Tabelle 19
Mögliche Entwicklung der
Anzahl Todesfälle von Personen
über 64 Jahre (eigene
Hochrechnung)

	2010	Klima 2050
Sozioökonomische Situation 2010	Bevölkerung Stadt Zürich über 64 Jahre: 64'274 Personen Klima: Durchschnittlicher Sommer (Juni bis August) mit dem Mittel von 1993 – 2002 mit: • 32.8 Sommertagen • 4.6 Hitzetagen Todesfälle Juni bis August: 8'818 Todesfälle über 64 Jahre	Bevölkerung Stadt Zürich über 64 Jahre: 64'274 Personen Klima: Durchschnittlicher Sommer (Juni bis August) mit +4 C° gegenüber dem Mittel von 1961 bis 1990 mit: • 73 Sommertagen • 27 Hitzetagen Todesfälle Juni bis August: 9'808 Todesfälle über 64 Jahre
Sozioökonomische Situation 2050	Bevölkerung Stadt Zürich über 64 Jahre: 96'614 Personen Klima: Durchschnittlicher Sommer (Juni bis August) mit dem Mittel von 1993 – 2002 mit: • 32.8 Sommertagen • 4.6 Hitzetagen Todesfälle Juni bis August: 13'255 Todesfälle über 64 Jahre	Bevölkerung Stadt Zürich über 64 Jahre: 96'614 Personen Klima: Durchschnittlicher Sommer (Juni bis August) mit +4 C° gegenüber dem Mittel von 1961 bis 1990 mit: • 73 Sommertagen • 27 Hitzetagen Todesfälle Juni bis August: 14'743 Todesfälle über 64 Jahre

Mögliche Entwicklung:
klimabedingte Zunahme um
11%, Zunahme aufgrund
Bevölkerungs- und
demographischer Entwicklung
um ca. 50%

Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten über die Bevölkerungsentwicklung und die demographische Entwicklung, sowie die Repräsentativität des als Referenzszenario gewählten Hitzesommers 2003 muss dies sehr vorsichtig als eine mögliche Entwicklung interpretiert werden. In dieser möglichen Entwicklung würde sich die Anzahl der Todesfälle in den Sommermonaten vom heutigen Zustand (2010) bis ins Jahr 2050 klimabedingt um 11% erhöhen. Insgesamt würde die Anzahl Todesfälle im Zusammenhang mit der Bevölkerungsentwicklung und der demographischen Entwicklung um rund 50% zunehmen (das individuelle Todesfallrisiko pro Person über 64 Jahre ist davon nicht beeinflusst).

Unklare Trends

In der Hochrechnung ist nicht berücksichtigt, inwiefern sich die Gesundheit der älteren Bevölkerung in den nächsten Jahrzehnten verändern wird. Einerseits kann eine weiterhin steigende Gesundheit zu einer Relativierung der Sommerhitzesterblichkeit bei älteren Menschen führen. Andererseits ist auch in Betracht zu ziehen, ob bestimmte soziale Milieus älterer Menschen an Gewicht gewinnen, welche aufgrund ihres Lebensstils ein höheres Risiko bezüglich der Hitzesterblichkeit haben. Drittens ist es möglich, dass sich die Lebensumstände älterer Menschen (Pflege, Betreuung, Möglichkeiten zur Kühlung von Gebäuden, etc.) an die höheren Temperaturen anpassen, so dass die Sterbeziffer bei zukünftigen Temperaturerhöhungen nicht analog zu den Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003 zunimmt.

Weitere Erkenntnisse zu vergleichbaren Risikoabschätzungen in Städten

Das Vorgehen, den Hitzesommer 2003 als Referenzsommer zu nutzen, bietet vielfältige Möglichkeiten zur Untersuchung von möglichen Auswirkungen des Klimawandels. Dies hängt mit der sehr guten Datenlage zusammen, die in der Regel in städtischen Verwaltungen vorliegt. So können längere Zeitreihen auf Unterschiede untersucht werden.

Beurteilung des Hitzesommers
2003 als Referenz

Weiter zeigt sich für den Wirkungsbereich Gesundheit, dass die Differenzierung der Folgen in unterschiedliche Zielgruppen (z.B. Altersgruppe über 64 Jahre) zielführend ist. Die Folgen des Klimawandels können nicht für die gesamte Bevölkerung einheitlich beurteilt werden, da sie wesentlich von der Anpassungsfähigkeit der Betroffenen abhängen.

Differenzierung der Zielgruppen
sinnvoll

5.3.4 Fazit aus den exemplarischen Abschätzungen

In den exemplarischen Abschätzungen konnten die Gesundheitsrisiken durch Hitzewellen und die Risiken für Gebäude und Infrastrukturen durch Hochwasser, die in der Stadt Zürich und auch in anderen Städten eine hohe Bedeutung haben, quantitativ abgeschätzt werden. Die in 3.3.1 vorgeschlagenen Indikatoren waren für diese Abschätzung geeignet. Die quantitative Abschätzbarkeit der Risiken ist eine wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode, in der die Risiken aller Gefahren/Effekte gemeinsam modelliert und aggregiert werden.

Quantitative Abschätzbarkeit
hier gegeben

Es konnte jeweils auf gute Grundlagen bzw. auf eine bestehende Risikoanalyse zurückgegriffen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der hohen Anzahl betroffener Personen und der vergleichsweise hohen Werte- und Infrastrukturkonzentration für Stadtregionen tendenziell bessere Datengrundlagen für eine Klimarisikoanalyse verfügbar sind als in ländlicheren Gebieten. Damit dürfte eine solche Analyse in Städten und Siedlungen vergleichsweise gut abstützbar sein.

Gute Datengrundlage für
besonders relevante
Auswirkungsbereiche in Städten

Folgende Herausforderungen sind jedoch für solche exemplarischen Abschätzungen zu berücksichtigen:

Herausforderungen

- Schwierige Abschätzung der klimabedingten Veränderung von Jährlichkeiten (vgl. 5.3.2)
- Anpassung von Schadenempfindlichkeiten im Modell EconoMe 2.1 für Anwendung in Städten notwendig (vgl. 5.3.2)
- Angemessene Berücksichtigung von Unsicherheiten bzgl. künftiger Rahmenbedingungen, z.B. Bevölkerungsentwicklung, demographische Entwicklung, Veränderung des Gesundheitszustandes der älteren Bevölkerung evtl. auch in Abhängigkeit einer Veränderung sozialer Milieus, Gewöhnung an heissere Sommer etc. (vgl. 5.3.3) Beurteilung der Eignung der Methode für Städte und Siedlungen

5.3.5 Beurteilung der Eignung der Methode für Städte und Siedlungen

Im Rahmen des Methodentests wurden keine prinzipiellen Einschränkungen der Anwendbarkeit der Methode in Städten und Siedlungen festgestellt. Die in der Methode berücksichtigten Auswirkungsbereiche, Gefahren/Effekte und Indikatoren für Klimarisikoanalysen für Städte und Siedlungen werden hinsichtlich Eignung und Relevanz wie folgt beurteilt bzw. aufgrund der Erkenntnisse aus der Fallstudie wie folgt weiterentwickelt:

Auswirkungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Von den Auswirkungsbereichen werden „Infrastrukturen und Gebäude“ und „Gesundheit“ für Städte und Siedlungen als am relevantesten eingeschätzt.
„Freiräume und Grünflächen“	<ul style="list-style-type: none"> • Die Auswirkungen der Klimaänderung auf Freiräume und Grünflächen wird als so bedeutend angesehen, dass diese bei den Auswirkungsbereichen berücksichtigt werden sollten. Es wurde daher ein neuer Auswirkungsbereich definiert (vgl. 2.3).
Gefahren und Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Die vorliegenden Gefahren/Effekte (vgl. 2.2) werden als vollständig und geeignet beurteilt, um alle Auswirkungen von Klimaänderungen auf Städte zu erfassen.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Erfassung der Auswirkungen von Klimaänderungen in Städten und Siedlungen werden die Indikatoren direkte Kosten/Sachschäden, indirekte Kosten, klimatisch Betroffene und durch Schadenereignis Betroffene als am relevantesten eingestuft.
Klimatisch Betroffene	<ul style="list-style-type: none"> • Für Stadtgebiete sollten die ursprünglich gewählten Indikatoren im Bereich Gesellschaft ergänzt werden. Es wurde angeregt, Indikatoren mit geringerer „Betroffenheits-Schwelle“ zu berücksichtigen, v.a. bezogen auf die Betroffenheit durch extreme Temperaturen und durch Naturgefahren. Entsprechende Indikatoren wurden definiert und in das Indikatorset (vgl. 3.3.1) aufgenommen.
Herausforderungen z.T. mit anderen Schwerpunkten	<p>Die in 6.2 beschriebenen Herausforderungen für eine quantitative Klimarisikoanalyse bestehen grundsätzlich auch bei Anwendungen in Städten und Siedlungen, aber teilweise mit leicht anderen Schwerpunkten:</p>
Tendenziell bessere Datengrundlage	<ul style="list-style-type: none"> • Die Quantifizierbarkeit bzw. der Aufwand für eine Quantifizierung der Risiken hängt stark mit den verfügbaren Datengrundlagen zusammen. Tendenziell kann hier in Städten von etwas besserer Datenverfügbarkeit ausgegangen werden (vgl. 5.3.4).
Höhere Sensitivität gegenüber Schätzfehlern	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abschätzung der Jährlichkeit von Ereignissen und deren Veränderung im Rahmen der klimatischen Entwicklung ist für Städte und Siedlungen ebenso unsicher, wie in ländlichen Regionen. Aufgrund der vergleichsweise hohen Schäden in Städten und Siedlungen aufgrund der höheren Konzentration von Personen und Werten führt ein Schätzfehler hier jedoch absolut zu deutlich grösseren Veränderungen der Risiken.

- Die Auswirkungen eines Ereignisses hängen z.T. stark von leichten Variationen der Beispielszenarien ab. So sind z.B. die Auswirkungen eines Hagelgewitters zu Verkehrs-Stosszeiten aufgrund der höheren Exposition von Fahrzeugen auf den Strassen (statt in Garagen) höher als wenn das gleiche Gewitter am späten Abend auftritt. Aufgrund der in Städten nochmals grösseren Konzentration z.B. von Personen und Werten könnte diese Sensitivität anders sein als in ländlicheren Gebiete. Dies könnte aber im Rahmen des Methodentests nicht untersucht werden. Im Falle einer höheren Sensitivität müsste der Formulierung repräsentativer Beispielszenarien besondere Aufmerksamkeit zukommen.
- Ein Aspekt mit möglicherweise besonderen Herausforderungen bei der Anwendung für Städte und Siedlungen, der im Methodentest nicht untersucht werden konnte, stellt die räumliche Abgrenzbarkeit des Untersuchungsperimeters dar. Zwischen Städten und ihrem Umland besteht üblicherweise ein starker Austausch, z.B. in den Bereichen Verkehr (Pendlerströme, etc.) und Versorgung (Energie, Güter, Kommunikation). Dies ist bei der Wahl des jeweiligen Untersuchungsparameters zu berücksichtigen.

Andere Sensitivität auf Veränderungen des Beispielszenarios?

Räumlicher Perimeter: starke Interaktion mit Umland

5.3.6 Besonderheiten von Klimarisikoanalysen in Städten und Siedlungen

Folgende Besonderheiten für Klimarisikoanalysen mit der vorgeschlagenen Methode in Städten und Siedlungen werden identifiziert:

- Im Vergleich zu grösseren oder weniger homogenen Anwendungsgebieten dürften in Städten und Siedlungen generell weniger Wirkungsbereiche stark betroffen sein. So spielen klimabedingte Folgen für die Wirkungsbereiche Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Biodiversität und z.T. auch Energie und Wasserwirtschaft in Städten und Siedlungen häufig vermutlich eine untergeordnete Rolle. Die Wirkungsbereiche Gesundheit und Gebäude und Infrastrukturen dürften dagegen im Kontext städtischer Klimarisikoanalysen meist eine dominante Rolle spielen. Dies kann ein Vorteil von Anwendungen in Städten darstellen, da mit Analyse weniger Wirkungsbereiche die relevantesten Auswirkungen erfasst werden können.
- Auch das Spektrum der klimarelevanten Gefahren und Effekte ist in Städten geringer: Viele gravitative Naturgefahren (z.B. Lawinen, Murgang, Erdbeben/Hangmure und Steinschlag), Waldbrand und Trockenheit, sowie die Zunahme der Durchschnittstemperatur mit den Folgen Auftauen des Permafrostes und Reduktion der Schneedecke und von Gletschern spielen in Städten oft keine oder eine deutlich geringere Rolle. Auch dies kann ein Vorteil von Anwendungen in Städten darstellen, da mit Analyse weniger Gefahren/Effekten die relevantesten Auswirkungen erfasst werden können. Eine solche Fokussierung gilt allerdings für Siedlungen zumindest im Berggebiet häufig schon weniger.

Fokussierung der Risiken und Chancen auf wenige Wirkungsbereiche

Fokussierung auf weniger relevante Gefahren/Effekte

5.3.7 Empfehlungen

Nähere Analyse der Interaktion mit Umland und der Sensitivität hinsichtlich der Beispielszenarien

Die oben genannten Herausforderungen der starken Interaktion mit dem Umland und der möglicherweise besonderen Sensitivität hinsichtlich der Definition von Beispielszenarien sollten näher analysiert werden

Vollständige Anwendung in einer Stadt

Dies könnte im Rahmen einer ersten vollständigen Durchführung einer umfassenden Klimarisikoanalyse in einer Stadt oder Siedlung erfolgen. Eine erste vollständige Durchführung hätte in Städten den Vorteil, dass das relevante Spektrum an zu analysierenden Auswirkungsbereichen und Gefahren/Effekten weniger umfangreich ist, als in grösseren und von der Landnutzung her vielfältigeren räumlichen Einheiten.

Entwicklung von Teilmodellen

Verschiedene Auswirkungen der Klimaänderung werden in den Schweizer Städten sehr ähnlich wirken. Daher können die Abschätzungen dieser klimabedingten Auswirkungen prinzipiell je auf einem einheitlichen Vorgehen (Teilmodell) basieren (z.B. für die Abschätzung klimabedingter Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit). Dies hätte zum einen den Vorteil, dass die Ergebnisse vergleichbar sind, und zum anderen wäre der Aufwand für die einzelne Anwendung deutlich geringer, da die Entwicklung des Vorgehens entfällt. Zur Erleichterung der Durchführung von Klimarisikoplanalysen sollten solche Teilmodelle für alle Wirkungen von Gefahren/Effekten auf Auswirkungsbereiche entwickelt werden, bei denen die Auswirkungen sich von Stadt zu Stadt nicht wesentlich unterscheiden. Zudem sollten sich solche Teilmodelle auf verfügbare Datengrundlagen stützen, um den Aufwand für die Anwendung möglichst gering zu halten. Eine solche Entwicklung von Teilmodellen könnte im Rahmen einer vollständigen Anwendung der Methode in einer Stadt als Teilergebnis erfolgen.

6 Diskussion und Schlussfolgerungen

6.1 Möglichkeiten und Grenzen einer einheitlich anwendbaren Methode

6.1.1 Einheitliches Grundgerüst – Spezifikationen bei Anwendung

Der in Kap. 0 beschriebene methodische Ansatz berücksichtigt wichtige Grundprinzipien für die Analyse klimabedingter Risiken und Chancen, so dass er in der Schweiz auch für unterschiedliche Analyseeinheiten als Grundgerüst einheitlich angewendet werden kann, sowohl in ländlichen Regionen als auch in Städten und unabhängig von topographischen etc. Gegebenheiten.

Einheitlich anwendbarer
methodischer Ansatz

Die spezifische Ausgestaltung des methodischen Ansatzes ist jedoch vom jeweiligen Zusammenhang abhängig. Im Folgenden ist für verschiedene Eigenschaften der Anwendung aufgezeigt, inwiefern das Vorgehen unterschiedlich zu gestalten ist:

Spezifikationen je nach
Anwendungszusammenhang
notwendig

- Je nach Grösse des Raumes sind die Risiken und Chancen unterschiedlich detailliert erfassbar. Während bei sehr kleinräumigen Fallstudien die Auswirkungen bei Bedarf ortsspezifisch und damit mit geringer Unschärfe bezüglich der auswirkungsbereichsspezifischen Gegebenheiten erfasst werden können, ist ein ortsspezifisches Vorgehen aus Aufwandsgründen und oft auch aus Gründen der Datenverfügbarkeit für grössere räumliche Einheiten selten realistisch. Hier muss sich das Vorgehen daher viel stärker auf statistische Eckwerte, Modellannahmen und Hochrechnungen stützen.
- Die entwickelte Methode erlaubt die Bestimmung klimabedingter Risiken und Chancen für künftige Zeitpunkte, z.B. das Jahr 2050. Da die Auswirkungen der Klimaänderung in den einzelnen Auswirkungsbereichen nicht linear verlaufen, hängt die Verteilung der Risiken und Chancen stark vom betrachteten Zeitpunkt ab. Je nach Fragestellung ist daher der eine oder ggf. mehrere geeignete Zeitpunkte zu bestimmen.
- Die klimabedingten Auswirkungen der einzelnen relevanten Gefahren und Effekte für jeden einzelnen Auswirkungsbereich stellen für sich meist schon komplexe Fragestellungen dar. Je grösser die Anzahl der betrachteten Auswirkungsbereiche und Gefahren/Effekte, desto eher muss der Tiefgang im Rahmen solcher Fallstudien reduziert werden.
- Je nach beabsichtigter Verwendung der Ergebnisse ist ein angemessener Detaillierungsgrad zu wählen. Wenn es bei einer solchen Analyse um einen relativen Vergleich der Auswirkungen, z.B. für unterschiedliche Auswirkungsbereiche, geht (vgl. Ziel der Priorisierung im Rahmen

Räumliche Grösse der
analysierten Fallstudie

Zeitraum der Betrachtung
(ein oder mehrere Zeitpunkte,
Aggregation über die Zeit etc.)

Betrachtete
Auswirkungsbereiche und
klimabedingte Gefahren/Effekte

Beabsichtigte Verwendung der
Ergebnisse

der Umsetzung der nationalen Anpassungsstrategie), ist eine weniger detaillierte Betrachtung notwendig, als wenn die Auswirkungen für eine Fallstudienregion quantitativ erfasst werden sollen. Für die Kosten-Nutzen-Bewertung von möglichen ortsspezifischen Anpassungsmassnahmen ist nochmal ein deutlich höherer Detaillierungsgrad notwendig, wie er in Risikoanalysen z.B. im Naturgefahrenbereich notwendig ist (vgl. Bründl et al. 2009).

6.1.2 Ansatzpunkte für Weiterentwicklungen

Bereits erfolgte
Weiterentwicklungen für die
Anwendung in urbanen
Regionen

Im Rahmen des Pilotprojektes und dem darin integrierten Methodentest für die Stadt Zürich konnte bereits ein erster Schritt zur Weiterentwicklung erfolgen. Speziell in Bezug auf die Anwendung in urbanen Regionen wurden die Wirkungsbereiche um „Freiräume und Grünflächen“ ergänzt und der Indikatorsatz wurde um die Hitzebetroffenen und die Kältebetroffenen ergänzt.

Im Hinblick auf die künftige Anwendung der Methode erscheinen aus heutiger Sicht v.a. folgende Weiterentwicklungen sinnvoll:

Definition und Spezifizierung von
Standard-Anwendungen

Es könnten einheitliche Anwendungsbereiche mit entsprechender Nachfrage aus der Praxis identifiziert werden und für diese standardisierte Spezifikationen der oben genannten Eigenschaften vorgenommen werden, so dass ein weitgehend vergleichbares Vorgehen z.B. auf kantonaler Ebene möglich ist. Ein Beispiel für eine solche einheitliche Grundlage stellt der Leitfaden KATAPLAN für kantonale Gefährdungsanalysen aus Sicht des Bevölkerungsschutzes dar (BABS 2008b). Gerade in Bereichen mit hohen Unsicherheiten über die Entwicklungen, wie z.B. den Auswirkungen steigender Temperaturen auf den Winter- und Sommertourismus in Abhängigkeit der Höhenlage, sollten Klimarisikoanalysen schweizweit nach einheitlichen Grundsätzen und basierend auf in sich konsistenten Annahmen erarbeitet werden. Bei unabhängig entwickelten Ansätzen für verschiedene Regionen besteht die Gefahr von im relativen Vergleich unplausiblen Ergebnissen.

Definition von repräsentativen
Verteilschlüsseln „I“

Eine Entwicklung von repräsentativen Verteilschlüsseln „I“ für die Indikatoren untereinander könnte für solche typischen Anwendungen zu deutlich vermindertem Aufwand führen. Daher sollte bei künftigen Anwendungen darauf geachtet werden, ob die ermittelten Verteilschlüssel „I“ für bestimmte Regionen als repräsentativ beurteilt werden können. Solche Verteilschlüssel könnten für künftige Fallstudien in vergleichbaren Regionen verwendet werden.

6.2 Erkenntnisse für die Anwendung

6.2.1 Quantifizierbarkeit von Auswirkungen

Allgemein

Die Quantifizierbarkeit von Auswirkungen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zum einen spielen die verfügbaren Grundlagen und das existierende Expertenwissen eine wesentliche Rolle. Dieses ist je nach Region, betrachteter Gefahr/Effekt und dessen Auswirkungen auf einen Wirkungsbereich sehr unterschiedlich zu beurteilen.

Abhängigkeiten bei der Quantifizierung:
Verfügbare Grundlagen und Experten

Die Datengrundlage für eine Abschätzung einzelner Risiken war in den Fallstudien Davos und Zürich ausreichend bis gut, so dass solche Abschätzungen mit vertretbarem Aufwand möglich waren.

Ausreichende bis gute Datengrundlagen in Fallstudien Davos und Zürich

Eine wesentliche weitere Randbedingung wird durch die verfügbaren zeitlichen Ressourcen für eine solche Analyse gegeben. Aufgrund der meist grossen Zahl relevanter klimabedingter Einwirkungen von Gefahren/Effekten auf Wirkungsbereiche stehen für das Bestimmen der Risiken jeder dieser Kombinationen nur begrenzte Mittel zur Verfügung. Auch dies kann – je nach Anwendungszusammenhang – ein Grund dafür sein, auf eine vollständige Quantifizierung zu verzichten und eher semiquantitative oder qualitative Beurteilungen vorzunehmen.

Verfügbare zeitliche Ressourcen

Ein Bereich erheblicher Unsicherheiten bei der Quantifizierung stellt die Abschätzung der Veränderung der Jährlichkeiten von Ereignissen dar. Hier liegen kaum wissenschaftliche Erkenntnisse für eine Abschätzung vor und in einer beabsichtigten breiten Klimarisikoanalyse muss wohl auf Expertenschätzungen zurückgegriffen werden.

Schwierige Abschätzung der Jährlichkeiten von Ereignissen

Zum anderen hängt die Quantifizierbarkeit von der Wahl einer geeigneten Methode der Datenerhebung ab. Diese hängt ebenfalls von den örtlichen Rahmenbedingungen (z.B. Verfügbarkeit von Experten zu unterschiedlichen Gefahren/Effekten und deren Auswirkungen auf die Wirkungsbereiche) und von den verfügbaren Ressourcen ab, die ebenfalls den möglichen Tiefgang prägen. Ein Vorschlag für einen Grundablauf ist in 3.4.4 dargestellt.

Methode der Datenerhebung

Eine besondere Herausforderung stellt die Berücksichtigung indirekter Effekte bei den Quantifizierungen dar, bzw. bei den wirtschaftlichen Auswirkungen der Indikator „indirekte Kosten“. Hier besteht die Schwierigkeit, eine einheitliche Grenze zu ziehen, wie weit solche indirekten Auswirkungen berücksichtigt werden sollen. Aufgrund der Zunahme der Bedeutung anderer Einflussgrössen mit zunehmender Länge der Kausalkette bis zum indirekten Effekt ist hier eine Quantifizierung besonders schwierig. Geeignet wäre ggf. eine stärker qualitative Berücksichtigung der indirekten Auswirkungen.

Indirekte Auswirkungen

Grad der notwendigen
Quantifizierung prüfen

Aufgrund der hier genannten, nicht einfach lösbaren Schwierigkeiten, sollte je nach Anwendungszusammenhang geprüft werden, ob eine weitgehend vollständig quantitative Betrachtung notwendig ist. In verschiedenen Fällen sind die Ziele sicher auch mit einer semi-quantitativen oder rein qualitativen Betrachtung erreichbar.

Möglichkeiten der Expertenschätzung

Grundsätzlich nötig und möglich

Aufgrund der starken Zukunftsorientierung der Analyse ist ein Abstützen auf Fachleute notwendig, um die Einschätzungen ausgehend von einem möglichst guten Systemwissen vorzunehmen. Auch ist grundsätzlich die Möglichkeit der direkten Schätzung der positiven und negativen Auswirkungen durch Experten gegeben. Zur Vorbereitung dieser Schätzungen sind jedoch – abhängig von der jeweiligen Fragestellung und auch abhängig von den Experten – möglichst geeignete Grundlagen auszuwerten und den Experten als Entscheidungsgrundlagen vorzulegen. Welche Grundlagen zur Entscheidungsunterstützung geeignet sind, sollte möglichst auch mit den Experten abgestimmt werden.

Frage der Vorbereitung

6.2.2 Szenarien

Auswahl von Klimaszenarien und
sozioökonomischen Szenarien

Die Ergebnisse einer Analyse klimabedingter Risiken und Chancen hängen stark von den verwendeten Szenarien bezüglich der Klimaentwicklung und der Entwicklung von sozioökonomischen und demographischen Rahmenbedingungen ab. Für beide sind viele mögliche Entwicklungen vorstellbar. Da aber im Rahmen von Klimarisikoplanungen jedes zusätzlich berücksichtigte Klimaszenario oder sozioökonomische Szenario einen grossen Aufwand bei der Beurteilung der Auswirkungen nach sich zieht, ist die Anzahl der Szenarien, die hier berücksichtigt werden können, begrenzt. Aus diesem Grund hat die Auswahl von geeigneten Szenarien und die Berücksichtigung dieser punktuellen Betrachtungen in der Interpretation der Ergebnisse eine hohe Bedeutung.

Beispielszenarien für Gefahren
und Effekte

Bei den verwendeten Beispielszenarien ist darauf zu achten, dass sie möglichst repräsentativ für die Gefahr oder den Effekt sind. Die Repräsentativität bezieht sich dabei vor allem auf das Verhältnis der betroffenen Schadenindikatoren zueinander.

Da unterschiedliche Szenarieneigenschaften zu ganz anderen Ausmassen bzw. zu einem ganz anderen Verhältnis der Schadenindikatoren zueinander führen können, ist der Entwicklung und Formulierung der verwendeten, möglichst repräsentativen Beispielszenarien ausreichend Gewicht einzuräumen. Hier sollte auch bereits Expertenwissen einbezogen werden, um möglichst repräsentative Szenarien zu formulieren.

6.3 Schlussfolgerungen für eine Klimarisikoanalyse Schweiz

Als Grundlage für die Umsetzung der nationalen Anpassungsstrategie sollen die klimabedingten Risiken und Chancen für die ganze Schweiz erfasst werden. Um in der nationalen Anpassungsstrategie eine Priorisierung von Anpassungsbereichen vorzunehmen, ist eine belastbare Entscheidungsgrundlage unerlässlich. Aus diesem Grund müssen für die Erarbeitung einer nationalen Klimarisikoanalyse ausreichend gründliche Analysen der relevanten Einwirkungen von Gefahren/Effekten möglich sein, mit entsprechendem Bedarf an zeitlichen Ressourcen.

Im Folgenden sind drei mögliche Vorgehensweisen zur Erarbeitung einer nationalen Klimarisikoanalyse skizziert und es werden Schlussfolgerungen für die Erarbeitung einer nationalen Klimarisikoanalyse gezogen.

6.3.1 Mögliche Vorgehensweisen zur nationalen Klimarisikoanalyse

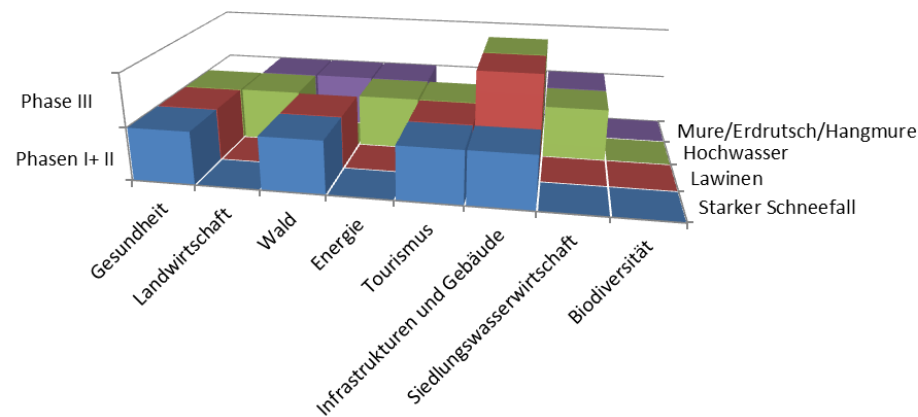
Um die verfügbaren Ressourcen möglichst effizient dort einzusetzen, wo der grösste Informationsbedarf besteht, könnte ein hinsichtlich des Tiefganges der Analyse stufiges Vorgehen gewählt werden:

Stufiges Vorgehen mit Abschätzung der Risiken und gezielten Vertiefungen

- 1) Ersteinschätzung der Bedeutung klimabedingter Einwirkungen von Gefahren/Effekten auf die einzelnen Auswirkungsbereiche (auf Basis der mit diesem Bericht vorliegenden Informationen) und Identifikation von vernachlässigbaren Kombinationen, die nicht weiterverfolgt werden.
- 2) Abschätzung der Risiken für die verbleibenden Kombinationen auf Basis von Statistiken und anderen quantitativen aber auch qualitativen Daten. Identifikation von Kombinationen, die eine vertiefte Analyse erfordern (v.a. dort wo klimabedingte Gefahren/Effekte einen grossen Einfluss auf Auswirkungsbereiche haben, oder wo ein grosser Einfluss möglich erscheint, für eine abschliessende Beurteilung jedoch eine detailliertere Analyse notwendig ist). Nach diesem Schritt liegt eine (z.T. noch vorläufige) vollständige Übersicht über die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz vor.
- 3) Vertiefte Analyse der Risiken für die ausgewählten Kombinationen von Gefahren/Effekten auf Auswirkungsbereiche.

Das Vorgehen ist in Abbildung 8 exemplarisch dargestellt.

Abbildung 8
Exemplarische Darstellung des
stufigen Vorgehens mit gezielten
Vertiefungen



Der erste Schritt (Ersteinschätzung der Bedeutung) könnte sich auf die Einschätzung der relevanten Gefahren/Effekte pro Auswirkungsbereich aus den geführten Auswirkungsbereichs-Interviews stützen, die in Tabelle 20 dargestellt ist.

Tabelle 20
Relevante Gefahren und Effekte
pro Auswirkungsbereich
(orange: relevant, gelb: weniger
relevant oder unterschiedliche
Beurteilung durch Experten)

	Änderung Intensivniederschläge					Änderung mittlere Niederschläge			Änderung Ex-tremtemperatur		Änderung mittlere Temperatur					Änderung Windregime
	Starker Schneefall	Lawinen	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Unwetter (inkl. Erosion)	Änderung im Niederschlagsregime	allg. Trockenheit	Waldbrand	Kältewelle	Hitzewelle	Frost	Reduktion Schneedecke / Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Änderung im Temperaturregime	Sturm / Orkan
Gesundheit																
Landwirtschaft																
Waldwirtschaft																
Energie																
Tourismus																
Infrastrukturen und Gebäude																
Siedlungswasserwirtschaft																
Biodiversität																

Alternativ würden sich folgende Vorgehensweisen zur schrittweisen Erstellung einer Klimarisikoanalyse Schweiz anbieten:

Erarbeitung regionaler Fallstudien und Hochrechnung auf die Schweiz

- 1) Bestimmen der aus Klimarisiken-Sicht 5-10 wichtigsten Raumtypen in der Schweiz
- 2) Auswahl je einer repräsentativen Fallstudienregion pro Raumtyp
- 3) Analyse der Klimarisiken für die Fallstudien (über alle Auswirkungsbereiche)



- 4) Hochrechnung auf die Klimarisiken der Schweiz über die Anteile der Raumtypen in der Schweiz

Erarbeitung und Zusammenführung sektorieller Klimarisikoanalysen auf Ebene Schweiz

- 1) Bestimmung der Klimarisiken in je einer sektoriellen Analyse pro Auswirkungsbereich (für die ganze Schweiz)
- 2) Zusammenführen der Ergebnisse der sektoriellen Analysen und Modellierung der gesamten Risiken und Chancen auf nationaler Ebene



6.3.2 Schlussfolgerungen für eine nationale Klimarisikoanalyse

Aus den Erkenntnissen des vorliegenden Pilotprojektes lassen sich folgende Schlussfolgerungen für eine solche nationale Analyse ableiten:

- Als vorteilhaft ist bei einer nationalen Analyse die Datenverfügbarkeit zu beurteilen. Bei kantonalen oder nationalen Untersuchungsperimetern sind meist mehr statistische Daten verfügbar, auf deren Basis eine Quantifizierung der Risiken und Chancen erfolgen kann. Dies führt tendenziell auch zu einer Reduktion des Aufwandes, verglichen mit der Herleitung der Risiken auf Basis einer Analyse lokaler Gefahrenprozesse (wie z.B. für Lawinen in der Fallstudie Davos in 4.3.2).
- Die Ergebnisse der Analyse sind massgeblich durch die verwendeten Klima- und sozioökonomischen Szenarien geprägt. Aus diesem Grund sollte der Generierung geeigneter, in sich konsistenter Szenarien ausreichendes Gewicht eingeräumt werden. Bei den sozioökonomischen Szenarien sollte dabei auch bereits Expertenwissen zu den Entwicklungen in den einzelnen Auswirkungsbereichen einbezogen werden.
- Schliesslich ist bei einer solchen nationalen Klimarisikoanalyse zu berücksichtigen, mit welchen systemimmanenten Unsicherheiten eine solche Analyse verbunden ist. Dies ist nicht methodenspezifisch und damit sollen die Ergebnisse nicht in Frage gestellt werden, sondern es verdeutlicht die Notwendigkeit, Annahmen zu hinterfragen und die Robustheit der Ergebnisse bezüglich einer Variation der Annahmen zu testen, sowie die notwendige Vorsicht in der Interpretation der Ergebnisse.

Bessere Datenverfügbarkeit bei nationaler Analyse

Ausreichend Gewicht auf Szenariengenerierung

Systemimmanente Unsicherheiten: Robustheit der Ergebnisse testen und angemessene Interpretation der Ergebnisse

7 Literatur

- Angst, C. (2007): Wald und Klimawandel, Wald und Holz 1: 31-33.
- ARE/BAFU (Hrsg.) (2008): Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.
- Arbeitsgemeinschaft Ecoplan/Sigmaplan (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BABS (2003): KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes. Erläuterung der Methode. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.
- BABS (2010): Risiken Schweiz. Unveröff. Arbeitsentwürfe.
- BABS (2008a): Risikoaversion. Ein Beitrag zur systematischen Risikobeurteilung. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.
- BABS (2008b): Leitfaden KATAPLAN -Gefährdungsanalyse und Vorbeugung. Teil: Grundlagen zur Erarbeitung einer kantonalen Gefährdungsanalyse. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.
- Baur, P.; Bernath, K.; Holthausen, N.; Roschewitz, A. (2003): LOTHAR Ökonomische Auswirkungen des Sturms Lothar im Schweizer Wald, Teil I. Einkommens- und Vermögenswirkungen für die Waldwirtschaft und gesamtwirtschaftliche Beurteilung des Sturms. Umwelt-Materialien Nr. 157. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Berry, P., Paterson, J., Cabeza, M., Dubuis, A., Guisan, A., Jäätelä, L., Kühn, I. Midgley, G., Musche, M., Piper, J. und Wilson, E. (2008): MACIS — Minimisation of and adaptation to climate change impacts on biodiversity. Oxford.
- BFS (2009): MONET - Nachhaltige Entwicklung messen. Indikatorensystem zur Nachhaltigen Entwicklung (Revidiertes System, Stand Juni 2009). Bundesamt für Statistik BFS. www.monet.admin.ch.
- Bicknell, J.; Dodman, D.; Satterthwaite, D. (2009): Adapting Cities to Climate Change: Understanding and Addressing the Development Challenges. Earthscan, London.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (2010): Urbane Strategien zum Klimawandel. Dokumentation der Auftaktkonferenz 2010 zum ExWoSt-Forschungsfeld. Berlin.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung), BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (Hrsg.) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation 23/2009. Berlin, Bonn.
- Brang, P., Bugmann, H., Bürgi, A., Mühlethaler, U., Rigling, A., Schwitter, R. (2008): Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Schweiz Z Forstwes 159: 362–373.

- Bründl, M.; Romang, H.; Holthausen, N.; Merz, H.; Bischof, N. (2009): Risikokonzept für Naturgefahren –Leitfaden. Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts. Vorläufige Version Februar 2009. Plattform Naturgefahren PLANAT.
- Bürki, R. (2000): Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Neue Folge, Heft 6, St. Gallen.
- Calanca P., Holzkämper A. (2010): Agrarmeteorologische Bedingungen im Schweizer Mittelland von 1864 bis 2050. *Agrarforschung Schweiz* 1(09): 320-325.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533.
- EEA (European Environment Agency) (2009): Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns. EEA Report, No. 5/2009, EEA, Copenhagen.
- Engesser, R., Forster, B., Meier, F., Wermeliner, B. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwes* 158: 344-351.
- ETCACC (European Topic Center on Air and Climate Change) (2010): Urban Regions: Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts – Scoping Study. ETC/ACC Technical Paper 2010/12. Bilthoven.
- European Commission (2005): ExterneE - Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. Editiert durch Peter Bickel und Rainer Friedrich, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung IER, Universität Stuttgart.
- Fankhauser, S., Tol, R.S.J. (2005): On climate change and economic growth. *Resour. Energy Econ.*, 27, 1-17. Zitiert nach Schneider et al. (2007).
- Fischlin, A. (2009): Berücksichtigen wir in der Klimapolitik genügend Sicherheitsmargen? *GAIA* 18/3: 193-199.
- Forum Biodiversität Schweiz (Hrsg.) (2007): Biodiversität und Klimawandel. Hotspot 16/2007. Bern.
- Guler, A.; Caprez, G.; Hefti, H.P.; Stoffel, L. (2006): Integrales Lawinenmanagement (ILM) Davos. Schlussbericht. Amt für Wald, Kanton Graubünden, Landschaft Davos Gemeinde. Davos.
- Hallegatte, S.; Corfee-Morlot, J. (2010): Understanding Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation at City Scale: An Introduction. *Climatic Change*, Volume 104, Number 1 : 1-12. DOI: 10.1007/s10584-010-9981-8
- Hänggi, P. und Plattner, C. (2009): Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung, Schlussbericht der Vorstudie. Bern und Davos. Herausgeber: Geographisches Institut Universität Bern und Netzwerkwasser im Berggebiet, Davos

- Hunt, A.; Watkiss, P. (2010): Climate Change Impacts and Adaption in Cities: A Review of the Literature. *Climatic Change*, Volume 104, Number 1: 13-49.
- IG Wasserkraft, VSE, ProClim, OcCC, NCCR Climate (2003). Wasserkraft und Klimawandel in der Schweiz – Vision 2030. Climate Talk – Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.
- Infras/Ecologic/Rütter+Partner (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse). Schlussbericht.
- Kohnle, U., Hein, S., Michiels, H.-G. (2008): Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts Klimawandel. *FVA einblick+ 1*: 50-53.
- Korn, H. und Eppele, C. (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel – Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen (BfN-Skripten, 148). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Koordinationsstelle Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (2009) : Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Ergebnisse des Biodiversitäts-Monitorings Schweiz (BDM) im Überblick. Stand: Mai 2009. Umwelt-Zustand Nr. 0911. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Kuik, O.; Buchner, B.; Catenacci, M.; Gorla, A.; Karakaya, E.; Tol, R.S.J. (2008): Methodological aspects of recent climate change damage cost studies. *The Integrated Assessment Journal* 8(1): 19-40.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Moss, R.H., Brenkert, A.L., Malone, E.L. (2001): Vulnerability to climate change. A quantitative approach. Paper prepared for the U.S. Department of Energy.
- Müller, H. und Weber, F. (2007), 'Klimaänderung und Tourismus: Szenarienanalyse für das Berner Oberland 2030', Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus, Bern.
- Nellthorp, J.; Sansom, T.; Bickel, P.; Doll, C.; Lindberg, G. (2001): Valuation Conventions for UNITE. UNITE – UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency.
- North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. (2007): Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- OBSAN (2009): Gesundheitsindikatoren des Schweizerischen Gesundheitsobservatoriums (Obsan). Schweizerisches Gesundheitsobservatorium, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel. www.obsan.ch
- OcCC (Hrsg.) (2000): Klimaänderung Schweiz: Trockenheit in der Schweiz. Workshopbericht. Bern.
- OcCC (Hrsg.) (2003): Extremereignisse und Klimaänderung: Wissensstand und Empfehlungen des OcCC. Bern.
- OcCC (Hrsg.) (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. OcCC/ProClim, Bern.

- OECD (2007): Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazards management, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2010): Cities and Climate Change, OECD Publishing. Paris.
- Pearce, D.W., Cline, W.R., Achanta, A.N., Fankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, R.S.J., Vellinga, P. (1996): The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. Kapitel 6 im Beitrag der Arbeitsgruppe III zum 2. Sachstandsbericht des IPCC. Cambridge University Press, Cambridge. 179-224.
- Pearce, D.W., Groom, B., Hepburn, C.J., Koundouri, P. (2003): Valuing the future – recent advances in social discounting. *World Economics* 4(2): 121-141.
- Rigling, A., Brang, P., Bugmann, H., Kräuchi, N., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N. (2008) Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 316–325.
- Ritter, E.-H. (2007): Klimawandel – eine Herausforderung an die Raumplanung. *Raumforschung und Raumordnung*, 65 (6): 531-538.
- Ruth, M.; Coelho, D. (2007): Understanding and Managing the Complexity of Urban Systems under Climate Change. *Climate Policy*, Vol. 7: 317-336.
- Schneider, S.H., Semenov, S., Patwardhan, A., Burton, I., Magadza, C.H.D., Oppenheimer, M., Pittock, A.B., Rahman, A., Smith, J.B., Suarez, A., Yamin, F. (2007): Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Kapitel 19 im Beitrag der Arbeitsgruppe II zum 4. Sachstandsbericht des IPCC. Cambridge University Press, Cambridge. S. 779-810.
- Schwab, N.G.; Soguel, N.C. (1996): The Pain of Road-Accident Victims and the Bereavement of their Relatives: A Contingent-Valuation Experiment. *Journal of Risk and Uncertainty* : 13, 277-291.
- Schweiz Tourismus (2008), 2030: Der Schweizer Tourismus im Klimawandel, Bern.
- SCNAT– Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (Hg.) 2008: Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Massnahmenbereich,. Ein Positionspapier der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT). Bern.
- Serquet, G., Rebetez, M. (2011): Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-010-0012-6.
- Sherbinin, A., Schiller, A.; Pulsiphe, A. (2006): The Vulnerability of Global Cities to Climate Hazards. *Environment and Urbanization*, Vol. 12: 93-102.
- Stern, N. (2007): The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge, 692 S. Zitiert nach Schneider et al. (2007).
- TAZ (2011): Stadt Zürich Risikoanalyse Sihl-Hochwasser. Tiefbauamt Zürich, Auftragnehmer: Geotest. Auszug aus dem Schlussberichts-Entwurf, zur Verfügung gestellt durch das Tiefbauamt Zürich.
- Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M., Rixen, C. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.

- Thommen Dombois, O. und Braun-Fahrländer C. (2004). Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft und für Gesundheit. Basel.
- Wohlgemuth, T. (Hrsg.) (2006): Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006. Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf.
- Wohlgemuth, T., Conedera, M., Kupferschmid Albisetti, A., Moser, B., Usbeck, T., Brang, P., Dobbertin, M. (2008): Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. Schweiz Z Forstwes 159: 336-343.
- WSL und BAFU (Hrsg., 2001): Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. 365 S.

A1 Indikatoren

Ausführliche Darstellung der Indikatoren

Indikator	Einheit	Beschreibung	Beispiel
Mehrerträge	in Fr.	Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte zusätzlich generiert werden	Aufgrund längerer Vegetationsperioden steigt die Produktivität bei landwirtschaftlichen Kulturen.
Mindererträge	in Fr.	Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte ausfallen	Aufgrund mangelnder Schneesicherheit gehen die Erträge in der Hotellerie in der Wintersaison zurück.
Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr.	Schäden an Sachwerten, nicht jedoch an Konsumgütern/Produkten (diese werden bei Erträgen berücksichtigt)	Bei einem Hochwasser werden Häuser und die Strasseninfrastruktur beschädigt.
Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	Zusätzliche oder eingesparte Kosten, um bei Naturereignissen oder Entwicklungen einen Zustand oder ein Ziel der Wirtschaft oder der Gesellschaft im üblichen bzw. notwendigen Umfang erreichen zu können (z.B. Versorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs, Heizung Innenräume).	Aufgrund der Beschädigung einer Hauptstrasse ist eine wichtige Verkehrsachse gesperrt. Die Umleitung bedeutet eine deutlich längere Fahrtdauer und erhöhte Treibstoffkosten. Minderkosten für Heizung von Gebäuden (infolge Temperaturzunahme)
Evakuierte	Anzahl	Anzahl Personen, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte evakuiert werden müssen.	Aufgrund eines Hochwassers erfolgt eine Evakuierung.
Siedlungsflächenverlust	Anzahl betroffene Personen	Anzahl Personen, die aufgrund von Effekten der Klimaänderung dauerhaft ihren Wohnort wechseln müssen (Siedlungsflächenverlust).	Ein durch Auftauen von Permafrost hervorgerufener Bergsturz verschüttet einen Teil einer Siedlung, der daraufhin aufgegeben werden muss.
Arbeitsplatzverlust	Anzahl	Anzahl Personen, die aufgrund von Effekten der Klimaänderung ihren Arbeitsplatz verlieren.	Aufgrund von Schneemangel geht die Attraktivität als Wintersportgebiet und damit die entsprechenden Arbeitsplätze zurück.
Arbeitsplatzgewinn	Anzahl	Anzahl Personen, die einen Arbeitsplatz erhalten, der durch Effekte der Klimaänderung neu entsteht.	Aufgrund der Reduktion schneesicherer Wintersportdestinationen steigt die Nachfrage und damit das erforderliche Personal in den schneesicheren Gebieten.

Durch Schadenereignis Betroffene	Anzahl	Anzahl Personen, die durch persönliche Betroffenheit durch das Ereignis geschockt sind, Sachschäden erleiden und diese bewältigen müssen. Es geht um die nicht-finanziellen Auswirkungen durch Verlust von Fahrhabe mit hohem ideellem Wert (z.B. Erbstücke oder Fotos.) sowie durch Arbeiten zur Bewältigung (z.B. Reinigungsarbeiten nach Übersarung).	Ein Hochwasser überflutet die Keller von Wohngebäuden und verursacht Wasserschäden. Die Keller müssen von den Bewohnern leergepumpt und gereinigt werden.
Klimatisch Betroffene			
Hitzebetroffene	Anzahl Personen Hitzetage -	Anzahl Hitzetage (max. Temperatur >30°C) * Anzahl von Hitzetagen negativ betroffene Personen	Aufgrund höherer mittlerer Temperaturen im Sommer nimmt die Anzahl Hitzetage zu. Dies führt bei vielen Menschen zu eingeschränktem Wohlbefinden.
Kältebetroffene	Anzahl Personen- Eistage	Anzahl Eistage (max. Temperatur <0°C) * Anzahl von Eistagen negativ betroffene Personen	Aufgrund höherer mittlerer Temperaturen im Winter nimmt die Anzahl Eistage ab. Dies führt nicht nur bei älteren Menschen zu einer Steigerung des Wohlbefindens.
Verletzte & Erkrankte	Anzahl	Alle Verletzungs- oder Krankheitsfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden. Bei der Monetarisierung dieses Indikators werden auch die damit zusammenhängenden "materiellen" Kosten berücksichtigt (Heilungs-, Administrativ- und Produktionsausfallkosten).	Kältewelle führt zu Grippefällen, Steinschlag zu Verletzten.
Tote	Anzahl	Alle Todesfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden. Bei der Monetarisierung dieses Indikators werden auch die damit zusammenhängenden "materiellen" Kosten berücksichtigt (Heilungs-, Wiederbesetzungs-, Administrativ- und Produktionsausfallkosten).	Steinschlag führt zu Todesopfern.
Artenvielfalt	qualitative Klassen	Veränderung der Artenvielfalt und der Artenzusammensetzung.	Aufgrund abnehmender Sommerniederschläge entstehen mehr Lebensräume für trockenheitsliebende Arten
Lebensraum-Vielfalt	qualitative Klassen	Veränderung der Lebensraum-Vielfalt und der Fläche wertvoller Biotope	Aufgrund abnehmender Sommerniederschläge verlanden kleinere Hochmoore.

Herleitung der Indikatoren

Soweit möglich sollten die Indikatoren für die Klimarisikoanalyse-Methode auf Indikatoren zurückgreifen, die in vergleichbaren Zusammenhängen bereits verwendet werden. Daher erfolgte ein Abgleich mit den Indikatoren in folgenden Projekten:

- Nationale Gefährdungsanalyse Risiken Schweiz (BABS 2010; vorläufige Arbeitsversion),
- Risikobewertung aus Sicht Bevölkerungsschutz KATARISK (BABS 2003),
- Klimawandel-Vulnerabilitäts- und -Resilienzbewertung von Moss et al. (2001)
- Klimaänderung in der Schweiz: Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen (North et al. 2007)
- Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse) (Arbeitsgemeinschaft Ecoplan/Sigmaplan 2007)
- Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (Koordinationsstelle Biodiversitäts-Monitoring Schweiz 2009)
- Indikatorensystem zur Nachhaltigen Entwicklung MONET (BFS 2009)

Gesundheitsindikatoren des Schweizerischen Gesundheitsobservatoriums (OBSAN 2010).

A2 Monetarisierungs-Ansätze

Indikator	Einheit	Grundlagen	Bemerkung	Vorschlag für Klimarisikoaanalyse [in CHF]	Begründung
Mehrerträge	in Fr.	-	-	1:1	-
Mindererträge	in Fr.	-	-	1:1	-
Kosten: direkte Kosten / Sachschäden	in Fr.	-	-	1:1	-
Kosten: indirekte Kosten	in Fr.	-	-	1:1	-
Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	-	-	50	Einschränkung des Wohlbefindens durch Hitze häufig nicht abwendbar.
Kältebetroffene	Anzahl Personen-Kaltetage	-	-	10	Einschränkung des Wohlbefindens durch Kälte ist durch Heizen meist abwendbar. Bewertung bezieht sich auf notwendige Aktivitäten im Freien.
Evakuierte	pro Person	BABS (2003)	pro evakuierte Person	10'000	Gleicher Wert wie in BABS 2003
Durch Schadenereignis Betroffene	pro Person	-	-	10'000	Gleicher Wert wie Evakuierte
Durch Siedlungsflächenverlust Betroffene	pro Person	BABS (2003)	-	100'000	Vergleichswert Evakuierte (pauschal x10)
Arbeitsplatzgewinn	pro Arbeitsplatz	-	Soziale Dimension	100'000	Vereinfachend wie Wohnortverlust
Arbeitsplatzverlust	pro Arbeitsplatz	-	Soziale Dimension	100'000	Vereinfachend wie Wohnortverlust
Verletzte & Erkrankte	Anzahl	ARE/BAFU (2008) Schwab/Soguel (1996)	Schwere Erkrankung (chronische Bronchitis): 470'000 Fr. (ARE/BAFU 2008, gerundet) Schwere Verletzung (mehrere Wochen bis Monate im Spital): 1'300'000 Fr. (Schwab/Soguel 1996, hochgerechnet und gerundet) Leichte Erkrankung mit vollständiger Genesung (ambulante Behandlung Atemwegserkrankung): 1'500 Fr. (ARE/BAFU 2008, gerundet) Leichte Verletzung (kein Spitalaufenthalt): 13'000 Fr. (Schwab/Soguel 1996)	100'000	Gemittelt und gerundet für Verletzte
Tote	Anzahl	Bründl et al. (2009)	VOSL (= immaterielle Kosten) + direkte und indirekte Unfallkosten Für die Grenzkosten zur Verhinderung eines Todesfalls wird vereinfachend als Mittel der Wert für die Risikokategorie 3 angenommen; somit werden sie einheitlich auf 5 Millionen CHF festgelegt (Bründl et al., 2009, S. 43).	5'000'000	Mit Bründl et al. (2009) vergleichbare Verhältnisse (überwiegend Naturgefahren).
Artenvielfalt	Qual. Klassen	-	-	keine Monetarisierung	Vgl. Kap. 3.3.1
Fläche der wertvollen Biotope	Qual. Klassen	-	-	keine Monetarisierung	Vgl. Kap. 3.3.1

A3 Gefahren/Effekte und Beispielszenarien

Beschreibung Gefahren/Effekte und Beispielszenarien

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Starker Schneefall / Lawinen	<p>Starke Schneefälle richten vor allem aufgrund der in kurzer Zeit auftretenden Schneemasse Schäden an. So beschädigt das Gewicht der Schneemassen Bäume, Leitungen und sogar Gebäude (eingedrückte Dachkonstruktionen). Zudem können grosse Schneevolumina Verkehrswege nachhaltig unterbrechen oder durch Lawinen bedrohen und Ortschaften für längere Zeit von der Aussenwelt abschneiden. Ernsthafte Probleme ergeben sich, wenn es zu einem Versorgungsengpass von Lebensmitteln, Energie oder Rohstoffen kommt (KATARISK 2003). In der Schweiz sind schneereiche Perioden in der Regel auch mit einer stark erhöhten Lawinentätigkeit verbunden.</p> <p>Ein Lawinenabgang ist ein Vorgang, bei dem sich im Anrissgebiet losgelöster Schnee oder Eis plötzlich und schnell in einer Sturzbahn als gleitende Masse oder wirbelndes Schnee-Luftgemisch abwärts bewegt und in einem Ablagerungsgebiet zum Stillstand kommt. (Quelle: PLANAT)</p>	<p>Starker Schneefall Mehrmalige, intensive Schneefälle mit Intensitäten bis 120 cm Neuschnee in 72 Stunden und anschliessender einsetzender Regen bis 2000 m sorgen für eine prekäre Situation in den Siedlungsgebieten und auf Verkehrswegen. Zusammen mit der schon vor dem Niederschlagsereignis vorhandenen Schneedecke baut sich eine Dachlast bis 450 kg/m² auf (Normlast SIA261: 7.5 kN/m², Eishalle: 6.5 kN/m²). Durch die häufigen grossen (feuchten) Neuschneemengen über den Zeitraum von einem Monat wird der Verkehr auf Strasse und Schiene erheblich behindert, v.a. auch durch abgebrochene Äste und umgestürzte Bäume, die auf Strasse und Schiene zu liegen kommen. Es ereignen sich zahlreiche Unfälle allerdings hauptsächlich mit Blechschäden.</p> <p>Lawinen Intensive Schneefälle in mehreren aufeinander folgenden Niederschlagsperioden, begleitet von heftigen Winden sorgen für eine prekäre Lawinensituation mit Gefahrenstufe 5 an mehreren Tagen. Die Züge der Rhätischen Bahn von Landquart nach Davos verkehren mit Verspätungen, jedoch meist planmässig. Die Nationalstrasse A28 ist ab Landquart schneebedeckt, in der Nacht und den frühen Morgenstunden wegen Verzögerungen in der Strassenräumung zum Teil nur einspurig befahrbar. An vereinzelten Punkten müssen einzelne Abschnitte aus Sicherheitsgründen gesperrt werden. Gäste und Einwohner werden zum Teil per Helikopter ausgeflogen. Die Seitentäler der Landschaft Davos sowie die Zufahrt nach Davos-Monstein sind zeitweise aus Sicherheitsgründen gesperrt und von der Aussenwelt abgeschnitten. An 10 exponierten Gebäuden (z.B. Maiensäss, Alphütten) sind Schäden durch Lawinen aufgetreten. An 20 weiteren Gebäuden sind Schäden durch Schneedruck aufgetreten. Lawinen treten vereinzelt bis an den Rand der Kernsiedlungen von Davos auf. Die Bewohner von lawinengefährdeten Gebäuden haben Ausgangssperre, zum Teil müssen Bewohnerinnen und Bewohner evakuiert werden. Die Skigebiete müssen an mehreren Tagen ihren Betrieb einstellen.</p>

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Hochwasser	<p>Als Hochwasser wird der Zustand bezeichnet, bei dem der Wasserstand oder Abfluss in einem Gewässer einen bestimmten (Schwellen-)Wert erreicht oder überschritten hat. Ereignisse wie extreme Niederschläge, die entweder sehr heftig sind oder lange andauern, können schliesslich ein Hochwasser auslösen. Ebenso kann starke Schneeschmelze zu einem Hochwasser beitragen. Die Auswirkungen lassen sich wie folgt gliedern:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Überschwemmungen werden gefährlich, wenn im Überflutungsbereich grosse Wassertiefen oder starke Strömungen auftreten. Dabei kann auch viel Geschiebe abgelagert werden (Übersarung). – Ufer- und Sohlenerosion: Stark strömendes Wasser vermag Feststoffe vom Ufer oder von der Gerinnesohle aufzunehmen und mitzutransportieren. Folgen davon sind die Verlagerung des Gerinnelaufes und Uferrutschungen, die Bauwerke und Anlagen am Gewässer gefährden. Das mitgeschleppte Geschiebe führt oft zu Beschädigungen an Kulturland und Bauten. <p>(Quelle: PLANAT)</p>	<p>Längere anhaltende Niederschläge verbunden mit einer hohen Nullgradgrenze über der Landschaft Davos und dem hinteren Prättigau sorgen für ein starkes Anschwellen der Landwasser, des Flüelabaches, anderer Seitenbäche der Landschaft Davos. Im Dorfbereich von Davos kommt es an vereinzelten Orten zu Überschwemmungen. 10 Kellergeschosse vor allem entlang der Landwasser stehen unter Wasser. An einigen Seitenbächen kommt es zu Verkläuerungen und damit zu einem Austreten der Bäche aus dem Gerinnebett. Die Wasser- und Geschiebemassen richten Sachschäden an.</p>
Mure/Erdrutsch/Hangmure	<p>Ein Murgang (auch Mure oder Rufe genannt) ist ein breiartiges, oft schnell fließendes Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Kies, Steine, Blöcke, Holz) mit einem hohen Feststoffanteil von circa 30 bis 60%. [...] Ein Murgang besitzt ein beträchtliches Erosionsvermögen, er vermag grosse Geschiebe- und Geröllmassen (Blöcke von mehreren m³ Volumen, Baumstämme, Autos usw.) umzulagern. Übermürungen sind Ablagerungen von Murgangmaterial ausserhalb des Gerinnes.</p> <p>(Quelle: PLANAT)</p> <p>Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Gesteinspaketen auf einer Gleitfläche. Rutschungen können sich an mässig bis steil geneigten Hängen vor allem zwischen 10° und 40° ereignen.</p> <p>(Quelle: PLANAT)</p> <p>Eine Hangmure ist ein an steilen Hängen erfolgreiches, schnelles Abfahren eines Gemisches aus Lockergestein (Steine, Holz, Boden und Vegetationsbedeckung) und viel Wasser. Gelegentlich werden Hangmuren auch durch oberflächliche Rutschungen ausgelöst, sehr oft jedoch auch ohne Vorhandensein einer Gleitfläche.</p> <p>(Quelle: PLANAT)</p>	<p>Längere anhaltende Niederschläge verbunden mit einer hohen Nullgradgrenze über der Landschaft Davos und dem hinteren Prättigau sorgen für eine Sättigung der Böden. Die Seitenbäche in der Landschaft Davos schwellen stark an und führen starkes Geschiebe mit sich. Durch Verkläuerungen und Durchlässen bilden sich kleinere Murgänge. Wegen der Verbauungen in den Seitenbächen kommt es jedoch nur zu mehreren kleineren Schäden an Gebäuden. Ein Vorstoss in den Siedlungskern bleibt aus. Die Flüelastrasse ist durch einen Murgang während 12 h vorübergehend unterbrochen.</p>

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Unwetter (Hagel, Blitz, Böen)	<p>Ausserordentliche Wettererscheinungen, die mit Gefahren wie Wind und Starkregen verbunden sind, werden als Unwetter bezeichnet. Der Begriff Unwetter ist eine Sammelbezeichnung für extreme Wetterereignisse. In der Meteorologie werden zu den Unwettern alle konvektiv bedingten Ereignisse wie Gewitter, Stürme, Hagel und Starkregen gezählt. (Quelle: PLANAT)</p> <p>Abgrenzung: Als Unwetter wird hier ein lokales, schweres Gewitter mit Starkniederschlag und Sturmböen verstanden. „Sturm“ und das grossräumige „Hochwasser“ als mögliche Folge eines Unwetters werden separat behandelt.</p>	<p>Eine lokal eng begrenzte Hagelzelle (Superzelle) überquert die Gemeinde Davos. Hagelkörner mit einer Grösse von bis zu 2.5 cm Durchmesser richten bedeutenden Sachschaden an, Sturmböen wirbeln nicht befestigte Gegenstände durch die Luft, was zu Schäden an Gebäuden führt.</p>
Änderung im Niederschlagsregime	<p>Änderung im Niederschlagsregime wird als Auslöser unterschiedlicher Folgen verstanden. Änderungen in der Verteilung der Niederschläge über das Jahr (v.a. im Hinblick auf die Vegetationsperiode) und der Form der Niederschlagsereignisse (z.B. häufige N. mit geringen Mengen oder seltene, intensive N.) können Einfluss z.B. auf das pflanzenverfügbare Wasser oder die Pegelstände in Gewässern haben.</p>	<p>In der Fallstudienregion verändert sich die Verteilung der Niederschläge über das Jahr (vgl. Klimaszenarien). In diesem Jahr ist der Winter (Dezember-Februar) sehr trocken, insgesamt fallen nur 50% der Niederschläge des 10-jährigen Mittels. Zudem erfolgt der Grossteil des Niederschlags in drei grösseren, intensiven Niederschlagsereignissen. Auch im Frühling (März-Mai) fallen mit 40% des 10-jährigen Mittels deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Auch diese fallen in relativ kurzen und intensiven Ereignissen.</p>
Allg. Trockenheit	<p>Trockenheit bezeichnet einen Zustand, bei dem das zur Verfügung stehende Wasser den Bedarf von Pflanzen und Menschen nicht ausreichend decken kann. Der Bedarf ist von Region zu Region sehr verschieden und normalerweise dem langjährigen Angebot angepasst. (Quelle: PLANAT)</p>	<p>Eine Trockenperiode nach einem schneearmen Winter führt zu weit unterdurchschnittlichen Niederschlägen. Statt der üblichen Niederschlagssumme von rund 600 mm zwischen Mai und Oktober fallen nur 200 mm. In den sonst niederschlagsreichen Monaten Juli und August werden statt wie im Mittel an rund 27 Tagen nur an 8 Tagen Niederschläge mit einer Summe von insgesamt 80 mm (gegenüber rund 260 mm im Mittel) verzeichnet. Das Niederschlagswasser vermag in die ausgetrockneten Böden kaum einzudringen und fliesst daher zu einem grossen Teil oberflächlich ab. Ein beträchtlicher Anteil des Niederschlags verdunstet.</p>
Waldbrand	<p>Ein Waldbrand ist ein natürlich oder durch den Menschen ausgelöstes Feuer im Unterholz, auf Wald- oder Grasböden (Quelle: PLANAT).</p>	<p>Aufgrund der grossen Trockenheit in den Sommermonaten herrscht in der Gemeinde Davos eine akute Waldbrandgefahr. Durch einen Waldbrand oberhalb Davos Platz werden rund 50 ha Schutzwald vernichtet. Die betroffenen Gebiete sind für die Forstwirtschaft sowie für die Naherholung nicht mehr benutzbar, Schutzwirkung ist stark eingeschränkt.</p>

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Kältewelle	<p>Kältewelle bezeichnet einen Kälteeinbruch im Winter mit Advektion (horizontale Luftzufuhr) von Kaltluft polaren oder osteuropäischen Ursprungs, die einen extremen Temperaturrückgang (von über 10 C) verursachen kann und eine Periode kalter Witterung einleitet. (Quelle: MeteoSchweiz)</p> <p>Kältewellen richten wegen ihrer verhältnismässig lang andauernden und tiefen Temperaturen Schaden an. Werden Kältewellen zudem von Niederschlägen (Schnee, Eisregen) oder starken Winden begleitet, sind die Auswirkungen entsprechend verheerender. Denkbare Schadenbilder reichen von einzelnen Verkehrsbehinderungen infolge Schnee- oder Eisbildung bis zu grossräumigen Zusammenbrüchen der Infrastruktur (unpassierbare Verkehrswege, blockierte Verkehrsteilnehmer, Versorgungsschwierigkeiten in der Wasser-, Energie- und Kommunikationsversorgung usw.). Ernsthafte Probleme ergeben sich, wenn es zu einem Versorgungsengpass von Lebensmitteln, Energie oder Rohstoffen kommt. (Quelle: KATARISK 2003)</p>	<p>Die Wahrscheinlichkeit für längere und bedeutende Kältewellen in den Gemeinden Davos und Klosters nimmt tendenziell ab. Die generelle Erwärmung mit rund 20 -30 weniger Eistagen schliesst jedoch vereinzelte Kältewellen von 1-3 Wochen nicht aus. Die Auswirkungen sind jedoch als gering zu bezeichnen, da Personen und Infrastruktur an kalte Temperaturen gewöhnt sind.</p>
Hitzewelle	<p>Als Hitzewelle wird eine starke Erwärmung mit Lufttemperaturen über 30°C, die mehrere Tage andauert, bezeichnet. Infolge der trockenen, warmen Luft während einer Hitzewelle können für längere Zeit keine Niederschläge fallen. Dies kann zu Trockenheit oder gar Dürre führen (→ Allg. Trockenheit).</p> <p>Durch die starke Sonneneinstrahlung und erhöhte Stickoxidkonzentrationen infolge fehlenden Luftaustausches wird die Bildung von Ozon in der untersten Atmosphärensicht gefördert. Übermässige Ozonkonzentrationen reizen die Schleimhäute und können zu Erkrankungen der Atemwege führen. Bei erhöhter Ozonbelastung sollten körperliche Betätigungen deshalb gemieden werden. Auch die Hitze selbst kann für den Menschen gefährlich werden. Hitze kann im menschlichen Körper zu Hitzschlag, Sonnenstich oder gar Kreislaufkollaps führen. (Quelle: PLANAT)</p>	<p>Während einer Hitzewelle von 2 Wochen steigen auch in den höher gelegenen Gebieten die Temperaturen. Auch in Davos wird an zwei Tagen eine Maximaltemperatur von 30°C gemessen. Die Tagesmittelwerte liegen mit 22 Grad C ungewöhnlich hoch.</p>
Frost	<p>Frost verursacht oft Schäden an Kulturen. Da nicht nur die Minimumtemperatur, sondern auch der Entwicklungsstand der Pflanzen das Schadensmass bestimmt, sind in der Schweiz vor allem die Spätfröste im Frühling gefürchtet. Mit der Klimaänderung wird sich das Frostrisiko auch in Zukunft verändern. Es ist aber nicht möglich, eindeutig eine Erhöhung oder eine Verminderung des Frostrisikos vorauszusagen.</p> <p>Spätfröste können je nach Zeitpunkt im Obst-, Reb- und Gemüsebau grosse Schäden anrichten, da die Pflanzen im Frühling je nach Stand der Vegetationsentwicklung unterschiedlich empfindlich sind. (OcCC 2003)</p>	<p>Als Kombination aus geringen Niederschlägen im Winter und deutlich überdurchschnittlichen Temperaturen auch im Sommerhalbjahr, reduziert sich das Volumen (die Mächtigkeit) der Gletscher 5-mal so stark wie im 10-jährigen Mittel. Die durchschnittliche Schneefallgrenze steigt im Sommer um 300 (100) Hm an.</p>

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Reduktion Schneedecke/Gletscher	<p>Mit der Klimaänderung geht eine Reduktion der Schneedecke und der Gletscher einher. Im Winter wird die Erwärmung im Mittel zu einem Anstieg der Schneefallgrenze führen. Im Sommer wird der im Winter angefallene Schnee bis in immer höhere Lagen schmelzen.</p> <p>Der Rückgang von Gletschern ist eine der bekanntesten und eindrucklichsten Folgen der globalen Klimaerwärmung. Wenn Gletscher abschmelzen, geht nicht nur ein prägendes Landschaftselement verloren, sondern es nehmen auch die in Eis gebundenen Wasserreserven ab. Da Gletscher im Sommer und Herbst Schmelzwasser liefern, haben sie eine ausgleichende Wirkung auf die Wasserführung vieler Flüsse. In Einzugsgebieten ohne Gletscher sind die Abflussschwankungen im Jahresverlauf viel ausgeprägter, und die Wasserverfügbarkeit kann zeitweise deutlich reduziert sein. (Quelle: BAFU)²¹⁾</p>	<p>Als Kombination aus geringen Niederschlägen im Winter und deutlich überdurchschnittlichen Temperaturen auch im Sommerhalbjahr, reduziert sich das Volumen (die Mächtigkeit) der Gletscher 5-mal so stark wie im 10-jährigen Mittel. Die durchschnittliche Schneefallgrenze steigt im Sommer um 300 (100) Hm an.</p>
Auftauen Permafrost	<p>Permafrost ist Boden, welcher das ganze Jahr über gefroren ist. Dieses Phänomen ist in den Alpen weit verbreitet und kann die Stabilität von Bauwerken sowie Naturgefahrenprozesse erheblich beeinflussen.</p> <p>Permafrost kommt sowohl im Fels als auch in Lockermaterial vor (z.B. Geröll, Schutt). Lockermaterial, das mit Eis übersättigt ist, kriecht oft langsam talwärts. Für Bauwerke auf Permafrostböden (z.B. Seilbahnstationen) kann dies problematisch sein. Daher sind besondere Konstruktionstechniken erforderlich.</p> <p>Durch den Klimawandel kann sich die Stabilität des Untergrundes verändern. Solange der Boden gefroren ist, ist er relativ stabil. Wegen der Klimaerwärmung könnte die Grenze des Permafrostes in den nächsten Jahrzehnten ansteigen. Dies hätte infolge der fehlenden Verkittung in den Bergen Steinschlag, Fels- oder Bergstürze sowie Rutschungen und Murgänge zur Folge. (Quelle: BAFU)²²⁾</p>	<p>Infolge deutlich überdurchschnittlicher Temperaturen im Frühjahr und Sommer (im Mittel um 4 Grad C) taut der Permafrost in höheren Lagen der Landschaft Davos deutlich stärker auf als üblich. Betroffen sind v.a. die Gipfelbereiche Weissfluhjoch, Weissfluhgipfel (Restaurant und Bergstation, Flugüberwachung einschliesslich Skyguide) bis Casanna sowie die Gebiete um Mederger Flue, Tiejer Flue und einzelne Bereich am Schiahorn. Betroffen sind in der Region Weissfluhjoch – Weissfluhgipfel schätzungsweise 8 Gebäude, im Gebiet Jakobshorn etwa 1-2 Gebäude.</p>

21) <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08557/08570/index.html?lang=de>

22) <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/06140/index.html?lang=de>

Gefahr/ Effekt	Beschreibung/Abgrenzung	Beispielszenario für Fallstudienregion
Steinschlag, Fels-/Bergsturz	<p>Sturzprozesse sind Massenbewegungen, bei welchen das aus dem Gebirge ausgebrochene Material den grössten Teil des Weges in der Luft zurücklegt. Man unterteilt sie in Stein- und Blockschlag, Felssturz und Bergsturz.</p> <p>Stein- und Blockschlag (<100m³) ist charakterisiert durch das plötzliche Abstürzen von einzelnen Steinen und Blöcken. Bei Fels- und Bergstürzen (ab 100m³) löst sich eine grössere Felsmasse en bloc aus der Felswand. Während des Sturzes oder beim Aufprall wird sie in Blöcke und Steine zerteilt. Bergstürze unterscheiden sich von Felsstürzen durch das noch grössere Sturzvolumen. Ausserdem können die Bruchstücke bei einem Bergsturz in Wechselwirkung treten, wodurch die Masse zu feinem Gesteinsmehl zerrieben oder gar aufgeschmolzen werden kann.</p> <p>(Quelle: BAFU)²³⁾</p>	<p>Bei zunehmenden Sommertemperaturen und einer ansteigenden Anzahl von Sommer- und Hitzetagen nimmt die Wahrscheinlichkeit für Felsausbrüche und Steinschlag aus Permafrostgebieten zu. Betroffen sind vor allem die hoch gelegenen Bereiche des Flüela-Wisshorns und die Kette Richtung Gorihorn und das Gebiet westlich der Passhöhe sowie die Bereiche im Skigebiet Davos-Parsenn sein.</p> <p>Die Flüelapasstrasse kann von beiden Seiten punktuell durch Steinschlag und Felssturz gefährdet sein, wobei auftauender Permafrost als Ursache eine untergeordnete Rolle spielt.</p>
Zunahme Durchschnittstemperatur	<p>Mit der prognostizierten Erhöhung der mittleren Temperaturen werden die Winter kürzer, die Vegetationsperiode wird länger, Niederschlag fällt auch im Winterhalbjahr tendenziell häufiger als Regen und die Gletscher schmelzen weiter ab. Pflanzen- und Tierarten sind zunehmend an die veränderten Bedingungen nicht mehr angepasst oder es wandern neue Arten in das jeweilige Ökosystem ein. Je nach Geschwindigkeit der Veränderung der klimatischen Bedingungen wird sich das Ökosystem mehr oder weniger gut an die neuen Verhältnisse anpassen können. Besonders im Wald muss damit gerechnet werden, dass aufgrund der langen Lebensdauer der Bäume eine Anpassung der Vegetation nicht so rasch erfolgen kann, so dass das Ökosystem instabil wird.</p>	<p>Die Jahresmitteltemperatur liegt in diesem Jahr um 3 °C höher als im Mittel zum Zeitpunkt 2010. Die Anzahl Eistage (min. Temp. < 0°C) ist um 30 Tage verringert. Die Anzahl der Sommertage (max. Temperatur >25 °C) liegt in diesem Jahr 13 Tage höher als im Mittel von 2000-2010. Die Schneefallgrenze liegt dieses Jahr um ca. 400 m höher und die Vegetationsperiode ist 3 Wochen länger.</p>
Sturm / Orkan	<p>Als Sturm werden Winde mit Geschwindigkeiten von mindestens 20,8 m/s (74,9 km/h) oder 9 Beaufort bezeichnet. Ein Sturm mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 32,7 m/s (117,7 km/h) oder 12 Beaufort wird als Orkan bezeichnet. Erreicht der Wind nur kurzzeitig (für wenige Sekunden) Sturmstärke, so spricht man von einer Sturmböe.</p> <p>Das primäre Gefährdungspotential eines Sturms geht von den klassischen Winterstürmen aus (Typ Lothar, Vivian), welche die Schweiz grossflächig betreffen können. Föhnstürme sind regional klar begrenzt (typische Föhntäler Alpennordhang). (MeteoSchweiz/Risiken CH)</p>	<p>Ein Sturm mit Böenspitzen von rund 120 km/h (Wiederkehrperiode 10 Jahre) verursacht in der Landschaft Davos Schäden an Gebäuden. In 10 m Höhe treten Staudrücke bis 1.3 kN/m² auf. Dächer werden teilweise abgedeckt, Leichtbauten werden beschädigt, stärkere Äste werden abgebrochen, einzelne Bäume werden entwurzelt, Fahrzeuge werden vereinzelt umgeworfen. Herumwirbelnde Gegenstände beschädigen Hausfassaden und gefährden Personen. Umgestürzte Bäume behindern den Strassen- und Schienenverkehr.</p>

23) <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01914/index.html?lang=de>

Festlegung der Gefahren/Effekte

Soweit möglich sollten die Gefahren und Effekte für die Klimarisikoanalyse-Methode auf bestehende Sets von Gefahren und Effekte zurückgreifen, die in vergleichbaren Zusammenhängen bereits verwendet werden. Daher erfolgte ein Abgleich mit den Gefahren/Effekten in folgenden Projekten:

- Thalmann (2010): Zusammenstellung des vorhandenen Wissens über Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz in der Datenbank SWIDCHI. <http://swidchi.epfl.ch/>
- Economics of Climate Adaptation Working Group (2009): Shaping Climate-Resilient Development. A Framework for Decision-Making.
- Nationale Gefährdungsanalyse Risiken Schweiz (BABS 2010; vorläufige Arbeitsversion),
- Schneider, S.H., Semenov, S., Patwardhan, A., Burton, I., Magadza, C.H.D., Oppenheimer, M., Pittock, A.B., Rahman, A., Smith, J.B., Suarez, A., Yamin, F. (2007): Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Kapitel 19 im Beitrag der Arbeitsgruppe II zum 4. Sachstandsbericht des IPCC. Cambridge University Press, Cambridge. S. 779-810.
- OcCC (Hrsg.) (2003): Extremereignisse und Klimaänderung: Wissensstand und Empfehlungen des OcCC. Bern.

A4 Ergebnisse der Fallstudie Davos

Verwendete Klimaszenarien für Fallstudie Davos

Klimaszenarien für die Schweiz 2050									
	Klimaszenario A				Klimaszenario B				Kommentar
Saison	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	
Temperatur	+1.5°C	+1.5°C	+2.0°C	+1.5°C	+2.5°C	+2.5°C	+3.5°C	+2.5°C	Ein Szenario eher mittel, eines eher hoch (in Anlehnung an A1B Szenario, das für den Zeitraum bis 2050 bereits eine hohe Temperaturzunahme aufweist).
Niederschlag	-10%	+10%	-5%	-10%	+10%	-5%	-15%	+10%	Plausibler Zukunftsraum ist sehr gross, für jede Saison ausser Sommer ist Zu- oder Abnahme von 10% möglich. Im Szenario A ist eher über das gesamte Jahr eine Abnahme zu verzeichnen, im Szenario B eher gleich bleibend.
Stürme	Noch offen				Noch offen				Gemäss MeteoSchweiz sehr unklar.

Klimaszenarien für Fallstudienregion Davos 2050			
	Klimaszenario A	Klimaszenario B	Kommentar
Mittlere Temperatur	s. Szenario für Schweiz	s. Szenario für Schweiz	
Mittlere Niederschlagsverteilung	s. Szenario für Schweiz	s. Szenario für Schweiz	
Anzahl Starkniederschläge	+1d	+2d	Anzahl Tage des Kalenderjahres mit Tagesniederschlag ≥ 20 mm (MeteoSchweiz, 2009, Klimabericht Kanton Graubünden, Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 228, p. 40; = Klimabericht GR) Heute: 11 d

			Klimabericht GR: 0.5d/10y = 2d (2010 – 2050)
Anzahl Trockenperioden	+1d	+2d	Anzahl zusammenhängender Tage des Kalenderjahres für welche der Tagesniederschlag <1 mm Heute: 21 d Klimabericht GR: 0.1d/10y = +0.4d (2010 – 2050)
Anzahl Eistage	- 20d	-30d	Tage des Kalenderjahres mit minimaler Temperatur T _{min} < 0°C Daten für Eistage, u.a. Davos: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/tabellen.Par.0007.DownloadFile.ext.tmp/eistage.pdf Heute: 64d. ; bei T+2.5°C = -400m (1190) = -30d; bei T+1.5°C = -250m (1340) = -20d; Klimabericht GR: -5.2d/10y = 21d (2010 – 2050)
Anzahl Hitzetage (> 30° C)	+ 1 d	+ 2 d	Daten für Hitzesommer, auch in Davos: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/forschung/publikationen/alle_publicationen/die_maximaltemperaturen.Par.0001.DownloadFile.tmp/ab212.pdf Heute: 0d. Im Hitzesommer 2003 gab es in Davos keinen Hitzetag. Oberhalb 1000 m mittl. Hitzetage meist 0. Bei T+2.5°C = -400m (1190) = +2d Bei T+1.5°C = -250m (1340) = +1d
Anzahl Sommertage (> 25°C)	+ 5 d	+ 10 d	Tage des Kalenderjahres mit maximaler Temperatur T _{max} ≥ 25°C

			<p>Daten für Hitzesommer 2003 auch in Davos.</p> <p>http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/delforschung/publikationen/alle_publicationen/die_maximaltemperaturen.Par.0001.DownloadFile.tmp/ab212.pdf</p> <p>Heute: 2 d, im Hitzesommer 2003 gab es 16 Sommertage.</p> <p>Bei $T+2.5^{\circ}\text{C}$ = -400m (1190) = +10d</p> <p>Bei $T+1.5^{\circ}\text{C}$ = -250m (1340) = +4d</p> <p>Klimabericht GR: $+1.3\text{d}/10\text{y} = 5.2\text{d}$ (2010 – 2050)</p>
Schneefallgrenze	+ 250 m	+ 450 m	<p>Ausgehend von $+2.5^{\circ}\text{C}$ in den Wintermonaten wurde gemäss feuchtadiabatischem Temperaturgradienten abgeschätzt ($2.5/0.6 = 4$; $1.5/0.6 = 2.5$), gilt auch für obiges;</p> <p>Gemäss OcCC bei $+1.5^{\circ}\text{C}$ ca. +300 m; bei $+2.5^{\circ}\text{C}$ ca. 500 m; Klimabericht GR: bei $+1.5^{\circ}\text{C}$ +225 – 300m; bei $+2.5^{\circ}\text{C}$ +375 – 500m</p>
Vegetationsperiode	+14d	+20d	<p>Vegetationsperiode in Mitteleuropa zwischen 1971 und 2000 etwa 2 Wochen länger. Zunahme ca. 0.22 Tage pro Jahr;</p> <p>http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landchaft/co2_klimaschutz/wsl_forum_wissen_original_artikel.pdf</p>

Verwendetes sozioökonomisches Szenario für Fallstudie Davos

Sozioökonomisches Szenario Davos 2050 – Kurzfassung

Auswirkungsbereich	Relevante Grössen zur Abschätzung der Indikatoren	Trendaussagen Davos 2050
Gesundheit	Anzahl Einwohner	Die Bevölkerungszahl steigt bis 2050 um 5 %. Davos bleibt Luftkurort und weitgehend frei von gesundheitlichen Belastungen.
Landwirtschaft	Anzahl Betriebe Anzahl Milchvieh Erträge: Milchpreis	<p>Im Zuge der Marköffnung der Schweizer Agrarpolitik setzt sich der Strukturwandel in der Landwirtschaft fort. Allerdings wird sich die Anzahl der Betriebe konsolidieren und nicht mehr weiter so stark zurückgehen wie in den letzten Jahrzehnten, da die Preise für land- und forstwirtschaftliche Produkte sowie die Nachfrage nach einheimischen Produkten steigen. In Davos geht die Anzahl der Betriebe um 10% zurück. Die Anzahl der in der Landwirtschaft Beschäftigten verringert sich um 20% .Die landwirtschaftlich genutzte Fläche bleibt im Wesentlichen konstant. Die Fruchtfolgefleichen sind gesichert.</p> <p>Heute produzieren in Davos etwa 50 Bauernfamilien 4.4 Mio. kg Milch pro Jahr. Praktisch sämtliche der 750 Davoser Milchkühe werden auf den Alpen gesömmert. Weitere 30 Landwirtschaftsbetriebe haben sich auf die Fleischproduktion oder die Aufzucht von Rindern ohne Milchproduktion spezialisiert. Der Milchpreis von aktuell etwa 65 Rp./kg. steigt um 20% (CH-Molkereimilchindex-Preis Basis: 2005 ab Hof, ohne MWSt.; BLW).</p>
Waldwirtschaft	Erträge: Holzpreise	Die Nachfrage nach biogenen Ressourcen und damit auch Holz steigt aufgrund zusätzlicher Verwendungsmöglichkeiten als Rohstoff oder Energieträger. Die Holzpreise steigen inflationsbereinigt um 50%. Die Holznutzung wird intensiviert. Bis 2050 wird 10 % mehr Holz genutzt als heute. Die Waldfläche bleibt unverändert.
Energie	Strompreis Betriebsertrag und Jahreserfolg des Netzbetreibers	<p>In den nächsten 10-20 Jahren werden dezentrale Anlagen erneuerbarer Energieproduktion ausgebaut, v.a. Wasserkraft. Wasserkonzessionen werden erneuert, Wasserrechte aber nicht neu verteilt.</p> <p>Im Zuge allgemein steigender Energiepreise wird der Strompreis in Davos um 20% steigen. Der Strompreis (Gesamtpreis inkl. Netznutzung, Energielieferung, Abgaben und Systemdienstleistungen, MWSt.) beträgt ab 1.11.2011 in Davos für dauernd genutzte Objekte je nach Kundengruppe zwischen 15.1 und 22.4 Rp./kWh Tagespreis sowie zwischen 10.9 und 16.3 Rp./kWh Nachtpreis. Der Strom wird produziert von der EWD Elektrizitätswerk Davos AG, die zwei Wasserkraftwerke (Frauenkirch und Glaris) betreibt, mit 15 % an den Albula Landwasser Kraftwerken beteiligt ist, sowie über 400 km Kabel- und Freileitungen, 151 Trafostationen und 200 Verteilboxen verfügt.</p>

		EWD erwirtschaftete 2009 einen Betriebsertrag Netto von 14'292'546 CHF und abzüglich Energie-, Material- und Drittleistungsaufwand (-2'108'967) einen Bruttogewinn von 12'183'579 CHF. Der ausgewiesene Jahreserfolg beträgt 945'832 CHF (und berücksichtigt Personal- und sonstiger Betriebsaufwand, Zinsen, Abschreibungen und Steuern). Da die Energiepreise stärker als die Produktionskosten steigen werden, steigen die Erträge der EWD um etwa 10%.
Tourismus	Anteil Zweitwohnungen Anzahl Betriebe Anzahl Gästebetten Anzahl Logiernächte	<p>Der Anteil der Zweitwohnungen wird bis 2050 um 10 % zunehmen: einerseits durch Neubau und Verdichtung in Davos Dorf und Davos Platz, andererseits durch Umbau von Hotels. Heute wird der Zweitwohnungsbestand in Davos auf etwa 4'500 Wohnungen geschätzt (etwa 55 % des Gesamtwohnungsbestandes).</p> <p>2050 wird es in Davos insgesamt 20 % mehr Logiernächte geben als heute. Im Jahr 2009 wurden in Davos in 58 geöffneten Betrieben, mit 5'334 Gästebetten, 264'364 Gästeankünfte und 915'375 Logiernächte verzeichnet (BfS).</p>
Infrastrukturen und Gebäude		<p>Die Bevölkerungszahl steigt bis 2050 um 5 %. Die Siedlungsentwicklung konzentriert sich in Davos Platz und Davos Dorf. Damit einhergehen nur einzelne punktuelle Erweiterungen der technischen und sozialen Infrastruktur (Einrichtungen für Bildung, Kultur, Gesundheit und Freizeit). Aufgrund des Tourismus und der saisonalen Spitzenlasten sind die infrastrukturellen Kapazitäten bereits heute weitgehend ausreichend.</p> <p>Die verkehrliche Erschliessung Davos wird verbessert. Ab spätestens 2030 ist die Schienenverbindung Landquart-Klosters doppelspurig ausgebaut. Die Reisezeit nach Davos bleibt unverändert. 2050 werden mehr Züge mit grösserer Kapazität nach Davos fahren (v.a. zu Stosszeiten in den Ferien und am Wochenende). Die Strassenverbindungen nach Davos werden ebenfalls ausgebaut, um das wachsende Verkehrsaufkommen nach und von Davos bewältigen zu können. Die Reisezeiten des MIV bleiben unverändert.</p> <p>Davos bleibt überregionales Zentrum. Der Anteil der Siedlungsfläche an der Gemeindefläche wird bis 2050 steigen. Bis 2050 werden die Bauzonenflächen um 5 % ausgedehnt. Die Bauzonen werden intensiver genutzt, so dass die vorhandenen Bauzonenreserven auf unter 5 % zurückgehen werden.</p>
Siedlungswasserwirtschaft		Die Wasserverfügbarkeit ändert sich bis 2050 nicht gravierend. An einzelnen, extremen Tagen konkurriert die Siedlungswasserwirtschaft mit Energie, Landwirtschaft und Tourismus um die Wasserressourcen.
Biodiversität		Keine absehbaren Veränderungen bis 2050 (abgesehen von klimabedingten Änderungen). Es findet keine Etablierung von Neobiota mit nennenswertem Einfluss auf die Biodiversität statt.

Sozioökonomisches Szenario Davos 2050

Methodik

Um mögliche sozioökonomische und demographische Entwicklungen der Testregion Davos darzustellen, wird ein Szenario mit dem Zeithorizont 2050 aufgestellt. Wenn möglich, werden zusätzlich die einzelnen Entwicklungstrends bis 2030 differenziert. Das Szenario Davos 2050 ist eine qualitative Fortschreibung der gegenwärtigen Situation und aktueller Entwicklungstrends und wird aus vorhandenen Studien und Szenarien abgeleitet (siehe Quellenverzeichnis).

Die vorliegenden sozioökonomischen und demographischen Prognosen und Szenarien beziehen sich in der Regel auf den Kanton Graubünden, die ganze Schweiz oder einzelne Wirtschaftsbereiche. Die einzige, sich explizit auf Davos beziehende Studie ist die regionale Bevölkerungsprognose 2030 (ARE GR, Wüest & Partner 2007). Weitere sich auf Davos beziehende Aussagen können dem „Bericht Raumentwicklung und Raumordnung in Graubünden 2009“ (ARE GR 2009) sowie dem kantonalen Richtplan entnommen werden. In beiden Dokumenten werden mögliche Entwicklungstrends räumlich differenziert.

Das Szenario Davos 2050 wurde in fünf Schritten erarbeitet:

1. Festlegen der allgemeinen Megatrends.
2. Festlegen der für Davos relevanten Dimensionen sozioökonomischen Wandels.
3. Beschreiben der möglichen Entwicklungen in den identifizierten Dimensionen auf Basis vorliegender Prognosen, Szenarien und Studien. Die Entwicklungen werden so dargestellt, dass keine offensichtlichen Widersprüche zwischen einzelnen Entwicklungen bestehen (z.B. kein starkes Wirtschaftswachstum bei hohen Energiepreisen).
4. Diskussion der Dimensionen und Entwicklungstrends mit Boris Spycher (Amt für Raumentwicklung Graubünden) in Chur am 7.10.2010.
5. Festlegen eines Szenarios Davos 2050 mit Aussagen zu den einzelnen Auswirkungsbereichen des Klimawandels.

Megatrends

Megatrends sind jene Entwicklungen, die lang anhaltend sind und regionenübergreifend sind sowie alle gesellschaftlichen Gruppen betreffen. Megatrends sind weit gehend ohne Alternative und unterscheiden sich nur in der Intensität und Geschwindigkeit. Sie sind die Rahmenbedingungen für sozioökonomische Szenarien und umfassen gesellschaftliche Werte und Normen, Politik und Verwaltung, technologischen Wandel, wirtschaftliche Entwicklung, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung (vgl. UKCIP 2000). Folgende Megatrends wurden identifiziert:

- Alterung der Gesellschaft: Der Anteil der Personen, die 60 Jahre und älter sind wächst von etwa 20 (Schweiz, 2000) auf 30 Prozent (2030).
- Vielfältige Gesellschaft: Die Vielfalt der Lebensstile nimmt zu, Patchwork-Familien und -Berufskarrieren, multioptionale KonsumentInnen.
- Globalisierung der Wirtschaft: Arbeits-, Waren- und Dienstleistungsmärkte globalisieren sich weiter.
- Steigender Energiebedarf: Global steigt der Energiebedarf.
- Mobile Welt: Global wächst der Personen-, Güter und Nachrichtenverkehr.
- Digitale Welt: Internet und Telematik bestimmen Kommunikation, Mobilität und Transport.
- Klimawandel: Der Klimawandel ist bis 2030 noch wenig dramatisch spürbar, danach unumkehrbar.

Dimensionen sozioökonomischen Wandels

Die zukünftige sozioökonomische Entwicklung wird im Wesentlichen von der demographischen Entwicklung, der wirtschaftlichen Prosperität und Entwicklung, der Veränderung von Normen und Werten sowie von globalen Einflüssen geprägt. Für Davos und auf lokaler Ebene generell sind die folgenden Dimensionen sozioökonomischen Wandels relevant:

- Politik und Verwaltung,
- Wirtschaft,
- Bevölkerung,
- Siedlungsentwicklung,
- Mobilität und Transport.

Beschreibung der Entwicklungstrends

Politik und Verwaltung	
Rolle des Staates	Der Staat ermöglicht den Märkten gesellschaftliche und wirtschaftliche Freiheiten und interveniert nur, um nationale und kantonale Interessen zu schützen. Der Transfer staatlicher Souveränität an globale oder europäische Institutionen wird abgelehnt. Die Politik des Bundes und der Kantone bleibt am wichtigsten und schützt die Schweizer Wirtschaft.
Rolle der Gemeinden	Die Gemeinden sind der Mittelpunkt des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens. Die Spezialisierung der Gemeinden schreitet voran. Das wird dazu führen, dass Gemeinden ihr Profil als z.B. Wohn- oder Arbeitsstandort schärfen oder fusionieren werden. Davon sind vor allem kleine Gemeinden betroffen, weil hier das Milizsystem und die Gemeindefinanzen zuerst an Grenzen stossen. Davos wird seine Rolle als Tourismuszentrum stärken.

Politikstil	Die wirtschaftliche und politische Macht konsolidiert sich bei den traditionell starken Interessengruppen. Der Schweizer Föderalismus und seine direkte Demokratie bleiben unverändert.
Wohlfahrt und Gesundheit	Der Zugang zu Gesundheit und Bildung wird allen ermöglicht. Die staatliche Grundversorgung geht zurück. Sozialversicherungsleistungen nehmen ab. Soziale und Einkommensunterschiede steigen.
Bildung	Die Qualität staatlicher Bildungsinstitutionen ist hoch, wird jedoch zunehmend in Frage gestellt. Es nutzen immer mehr Menschen private Bildungsangebote. Das Bildungssystem soll Chancengerechtigkeit ermöglichen. Soziale Disparitäten sind auch Bildungsunterschiede.
Umweltpolitik	Schwerpunkte der Umweltpolitik sind Schutz von Klima und Biodiversität. Die Grösse und Qualität der BLN-Gebiete bleibt stabil. Die Anpassung der Perimeter des BLN-Gebietes an Siedlungen wird u.a. auch in Davos diskutiert. Neue regionale Naturparkprojekte sind nicht zu erwarten.
Wirtschaftsentwicklung	
Wirtschaftliche Entwicklung allgemein	Die Internationalisierung der Wirtschaft führt einerseits zu neuen Absatzmärkten und andererseits zu steigender Konkurrenz der Anbieter. Aufgrund ihrer starken Industrie und ihrer Bedeutung als Finanzplatz gehört die Schweiz zu den Gewinnern der Globalisierung. Die Schweizer Volkswirtschaft bleibt so eine der reichsten der Welt. Graubünden und speziell Davos profitiert von dieser Entwicklung als Tourismus- und Wohnstandort.
Land- und Forstwirtschaft	<p>Aufgrund der allgemeinen Ressourcenknappheit steigen die Preise land- und forstwirtschaftlicher Produkte und die Nachfrage nach einheimischen Produkten.</p> <p>In Graubünden findet in den Tallagen eine Intensivierung der Nutzung statt. Die Fruchtfolgeflächen sind gesichert. Durch tendenziell steigende Lebensmittelpreise könnte die landwirtschaftliche Nutzfläche vereinzelt sogar zunehmen. Die Produktionskosten der Berglandwirtschaft bleiben höher als in den Nichtgebirgslagen.</p> <p>In der Forstwirtschaft sind keine massiven Veränderungen zu erwarten. Die Holznutzung wird intensiviert. Eine Lockerung des 100j. Rodungsverbotes ist denkbar. In Davos sind diese Entwicklungen kaum relevant.</p> <p>In Davos spielen diese Entwicklungen kaum eine Rolle. Hier steht die Landwirtschaft eher durch den Flächenbedarf des Tourismus unter Druck.</p>
Industrie und Gewerbe	Es keine nennenswerten Änderungen zu erwarten. In Davos wird die Entwicklung der Bauwirtschaft stark von der Entwicklung des Tourismus beeinflusst.
Energiewirtschaft	<p>Der steigende Energiebedarf wird durch verbesserte Energieeffizienz und alternative Energien bewältigt. Die dezentrale Energieproduktion und -versorgung gewinnt an Bedeutung. Der Ausbau dezentraler Wasserkraftanlagen wird staatlich gefördert, ist auch in Davos ein Thema und wird bis 2030 abgeschlossen sein. Wasserkonzessionen werden erneuert. Die Bündner Wasserkraft hat den Vorteil, dass die vorhandenen Speicherkapazitäten die Produktion sauberer Spitzenenergie ermöglichen. Graubündens Elektrizitätswirtschaft kann davon profitieren, dass Rohstoff- und Strompreise steigen, sobald der Strommarkt liberalisiert ist.</p> <p>Windmessungen am Flüela zeigen, dass das Potential der Windkraft in Davos gering ist.</p>

Tourismuspolitik	Die Bündner Tourismusreform fördert Kooperationen und den Zusammenschluss von Bergbahnen und Destinationsmanagementorganisationen, u.a. Davos-Klosters. Das Tourismusmarketing ist einerseits auf den ganzen Kanton Graubünden ausgerichtet. Andererseits werden internationale Marken wie Davos oder St. Moritz gepflegt.
Touristische Entwicklung	<p>Aufgrund steigender Transportkosten gewinnen die touristischen Nahmärkte an Bedeutung. Von den Fernmärkten kann Graubünden und Davos profitieren wenn Produkte vermehrt auf Kurzaufenthalte ausgerichtet sind, die Anreiselogistik und Fluganbindungen verbessert werden.</p> <p>Im Sommer werden die touristischen Gemeinden im Berggebiet zu angenehmen milden Ferienorten (Sommerfrische). Hiervon wird gerade auch Davos profitieren. Im Winter kann abnehmende Schneesicherheit die Attraktivität der Bündner Destinationen beeinflussen. Aufgrund der Höhenlage ist Davos davon weniger betroffen und wird sogar eher profitieren, weil die Konkurrenz der alpinen Wintersportdestinationen kleiner werden wird.</p> <p>Graubünden und speziell Davos werden durch die Trends zu Wellness und Gesundheitsdienstleistungen an touristischer Attraktivität gewinnen.</p>
Touristische Grossprojekte	Touristische Grossprojekte sind denkbar, auch in Davos, allerdings aufgrund hoher Anforderungen an die Erschliessung nur schwer zu realisieren. Bergbahnen werden laufend modernisiert aber nicht weiter ausgebaut – zumindest nicht in Davos. Andere Bündner Projekte wie z.B. Arosa/Lenzerheide sind aus kantonaler Sicht prioritär.
Preisentwicklung	Preise sind im Wesentlichen stabil. Energie- und Lebensmittelpreise steigen tendenziell am ehesten und meisten.
Bevölkerungsentwicklung	
Bevölkerungsentwicklung allgemein	Die Bevölkerungsentwicklung wird beeinflusst von Zu- und Abwanderung, von Geburten und Sterbefällen, von extra Zu-/Abwanderung wegen hoher/tiefer Wohnattraktivität sowie von extra Zuwanderung durch feste Niederlassung in Zweitwohnungen. Gemäss mittleren Bevölkerungsszenario bleibt die Bevölkerung Graubündens bis 2030 stabil und wächst leicht auf 191'000 Einwohner an (+1.7 %).
Alterung	<p>Der Megatrend einer älter werdenden Gesellschaft ist auch in der Schweiz, in Graubünden und in Davos zu beobachten. Der Vergleich der Geburtenzahlen 2005/2006 mit 1995/1996 zeigt, dass die Entwicklung in Davos (-35 %) deutlich ungünstiger ist als im Schweizer Durchschnitt (-11 %) oder auch in Graubünden (-28 %).</p> <p>Tourismuszentren wie Davos und auch das Bündner Rheintal werden durch den Geburtenrückgang weniger stark betroffen sein. Sie bieten genügend Arbeitsplätze für die örtlich ansässige erwerbstätige Bevölkerung. Ausserdem sind sie bei guter Verkehrserschliessung attraktiv für Arbeitspendler.</p>
Wohnattraktivität	Im Bevölkerungsmodell Graubünden wird die Wohnattraktivität der Gemeinden berücksichtigt. Die Wohnattraktivität von Davos und Klosters ist „überdurchschnittlich“.

Siedlungsentwicklung	
Raumtypen und zentralörtliche Bedeutung	Davos ist in der Bündner Raumordnung eines von vier überregionalen Zentren und liegt im „Tourismusraum“. Aufgrund der zunehmenden Konzentration von Wirtschaft und Gesellschaft wird Davos in seiner Zentrumsfunktion ebenfalls weiter an Bedeutung gewinnen.
Wohnen, Zweitwohnsitze	In der Teilrevision des Richtplans „Zweitwohnen“ sind Gemeinden mit Handlungsbedarf identifiziert. Davos gehört dazu, weil der Anteil an Zweitwohnungen überdurchschnittlich hoch ist. Langfristig wird der Anteil der Zweitwohnung eher leicht zunehmen als zurückgehen.
Verkehr	Die Erreichbarkeit Graubündens ist gut bis sehr gut. Der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur ist im Wesentlichen abgeschlossen und wird nur punktuell fortgesetzt. Zu den wenigen Engpässen gehört die Achse Landquart-Klosters. Der geplante doppelspurige Ausbau der Schiene ist bis 2030 vollzogen. Kostenintensive Verkehrsgrossprojekte wie z.B. ein Wolfgangstunnel zur Verkürzung der Reisezeit von Landquart nach Davos auf weniger als eine Stunde oder die bessere Anbindung des (Unter-)Engadins an Südtirol (Mals), welche auch die Erreichbarkeit von Davos verbessern würde, werden nicht realisiert.

Quellenverzeichnis

- Amt für Raumentwicklung Graubünden (2009): Bericht Raumentwicklung und Raumordnung in Graubünden 2009. Chur.
- Amt für Raumentwicklung Graubünden, Wüest & Partner (2007): Bevölkerungsperspektiven für den Kanton Graubünden von 2006 bis 2030. Chur.
- Amt für Raumentwicklung Graubünden (2007a): Bevölkerungsprognose 2030 für den Kanton Graubünden. Chur.
- Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden (2008): Wettbewerbsfähige Strukturen und Aufgabenteilung im Bündner Tourismus – Stand der Umsetzung, Chur.
- Credit Suisse (2007): Swiss Issues Regionen, Der Kanton Graubünden – Strukturen und Perspektiven, Zürich.
- Elektrizitätswerke Davos (2010): Netzzahresrechnung 2009. Davos.
- UK Climate Impacts Programme (2000): Socio-economic scenarios for climate change impact assessment: a guide to their use in the UK Climate Impacts Programme. UKCIP, Oxford.
- Schweizerischer Bundesrat (2008): Wachstumspolitik 2008 – 2011: Massnahmen zur weiteren Stärkung des Schweizer Wirtschaftswachstums, Bern.
- Wirtschaftsforum Graubünden (2008): Wirtschaftsleitbild Graubünden 2010. Rückblick und Ausblick. Chur.

Allgemeine Auswirkungen auf die Auswirkungsbereiche im Fallstudiengebiet Davos

Die allgemeinen Auswirkungen auf die Auswirkungsbereiche für die Schweiz sind in Kapitel 2.4 dargestellt. Im Folgenden werden die allgemeinen Auswirkungen für die Fallstudie Davos beschrieben.

Gesundheit

Auswirkungen des Klimawandels

Die Siedlungsgebiete in der Fallstudienregion Davos liegen in einer Höhenlage von ca. 1500-1600 m ü.M. Die Auswirkungen von Hitzewellen dürften daher im Vergleich zum Unterland stark vermindert sein. Entscheidend für die Wahrnehmung von hohen Temperaturen sind auch die Windverhältnisse. Durch lokale Berg- und Talwindphänomene ist eine gute Durchlüftung gegeben.

Gegenüber städtischen Agglomerationen sind im ländlichen Gebiet wesentlich weniger Flächen versiegelt, so dass die nächtliche Abstrahlung für Abkühlung in der Nacht sorgt.

Unter den gegebenen Klimabedingungen treten im Mittel pro Jahr 2 Sommertage auf ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), jedoch kein Hitzetag ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$). Daten aus dem Hitzesommer 2003 zeigen, dass in Davos 16 Sommertage, aber kein Hitzetag aufgetreten sind.

Das gewachsene soziale Umfeld in den Gemeinden und die sozialen Kontakte zwischen den Menschen dürften dafür sorgen, dass während Hitzeperioden vermehrt auf ältere und schwächere Menschen geachtet wird um sie zu unterstützen, wie z.B. durch Gewährleistung einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr.

Die klimatischen und sozioökonomischen Voraussetzungen lassen daher den Schluss zu, dass mit einer hitzebedingten Beeinträchtigung der Gesundheit nicht zu rechnen ist.

Auswirkungen wie ein verstärktes Ausbreiten von Zecken sind für Davos nicht völlig auszuschliessen. Eine Beeinträchtigung der Gesundheit durch von Zecken übertragene Krankheiten ist für Davos aber eher von untergeordneter Bedeutung.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

-

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Die Bildung von Ozon muss auch für Davos beachtet werden. Der Gewerbe- und Freizeitverkehr führt in beiden Orten zeitweise zu einem hohen Verkehrsaufkommen, welcher vor allem für hohe Ozonkonzentrationen verantwortlich ist. Das Verkehrsaufkommen in Richtung Davos könnte während Hitzeperioden weiter zunehmen, da zunehmend mehr Personen aus städtischen Ballungsräumen Erholung in kühleren Bergregionen suchen und so zu einem steigenden Verkehr beitragen.

Für die Bahnreisenden muss beachtet werden, dass Wagen der älteren Generation der Rhätischen Bahn noch nicht klimatisiert sind.

In den Wintermonaten ist die Luftqualität bei Inversionslagen speziell in Davos zeitweise schlecht.

Anpassungsmassnahmen

Bei Bedarf gelten die allgemeinen Anpassungsmassnahmen.

Literatur

Landwirtschaft

Auswirkungen des Klimawandels

Durch eine Erhöhung der mittleren Temperatur und die geringere Anzahl der Tage mit Schneebedeckung wird in der Fallstudienregion die Vegetationsperiode verlängert, was zu einer erhöhten Produktivität der Landwirtschaft führen könnte (u.a. mehr Grasschnitte). Dem steht die zunehmende Wahrscheinlichkeit von längeren Trockenperioden gegenüber, was durch Abschätzungen belegt wird, die besagen, dass bis 2050 die mittlere Anzahl von Tagen mit einem Niederschlag < 1mm um 0.4 Tage zunehmen wird. In vereinzelt Jahren kann somit mit einer Wasserknappheit gerechnet werden, was einer höheren landwirtschaftlichen Produktion mit steigenden Erträgen entgegenläuft. Im 20. Jahrhundert ist in der Schweiz nur ein einzelner Dürresommer (1947) aufgetreten; im Vergleich zu früheren Jahrhunderten war das 20. Jahrhundert in Bezug auf Dürren begünstigt. Zum Vergleich: Häufigkeit Dürresommer 16. Jhdt. alle 15 Jahre, 17. Jhdt. alle 12 Jahre, 18. Jhdt. alle 14 Jahre, 19. Jhdt. alle 50 Jahre.

Die Fallregion Davos-Klosters weist im Verhältnis zur restlichen Schweiz eine geringe Häufigkeit von Dürren auf.

Durch mögliche häufigere Extremereignisse mit Übersarungen und spontanen, flachgründigen Rutschungen wird wertvolles Grünland vorübergehend unbenutzbar bzw. gänzlich vernichtet. Die Eintretenswahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Hochwasserereignis in Klosters mit einem etwa 300-jährlichen Abfluss wie 2005 in der Periode 2010 bis 2050 liegt bei rund 13%.

Gegenüber tieferen Lagen ist das Risiko von verstärkt aufkommenden Schädlingen bzw. Unkräutern als geringer anzuschauen.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Bei Bedarf gelten die allgemeinen Anpassungsmassnahmen.

Literatur

OcCC (2000)

Waldwirtschaft

Auswirkungen des Klimawandels

Durch die höheren Temperaturen dürften sich die Wuchsbedingungen für Nadel- und Laubbäume zunächst verbessern. Durch die Zunahme der Waldfläche nimmt auch die Fläche des Schutzwaldes zu, wie dies auch schon in den vergangenen 100 Jahren beobachtet werden konnte. Verbesserte natürliche Grundlagen für die Waldwirtschaft dürften von den ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen überlagert sein.

In trockeneren Sommern dürfte der Trockenstress auch für den Wald in der Fallstudienregion zunehmen, was insbesondere für südexponierte Hänge gilt. Grosse Trockenheit schwächt die Bäume, fördert den Borkenkäferbefall und erhöht auch die Wahrscheinlichkeit von Waldbränden mit negativen Konsequenzen für den nutzbaren Holzvorrat, die Schutzwirkung vor Naturgefahren, die Erholungsleistung und die CO₂-Speicherung bzw. -Senkenleistung des Waldes.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

Energie

Auswirkungen des Klimawandels

Bei steigenden Temperaturen v.a. im Herbst, Winter und Frühjahr dürfte der Energieaufwand für das Heizen generell abnehmen. Eine Zunahme von Energie zu Kühlungszwecken wird jedoch als eher von untergeordneter Bedeutung eingeschätzt.

Für die technische Beschneigung der Skipisten im Winter, die bei steigenden Temperaturen eher zunehmen wird, ist zusätzlicher Energiebedarf zu erwarten. Bereits heute macht der Stromverbrauch für die Beschneigung ca. 0.5% des gesamten Energieverbrauchs der Gemeinde Davos aus (im Vergleich: Energieverbrauch durch Wohnungen 32.5% des Gesamtenergieverbrauchs der Gemeinde Davos).

Für die Stromproduktion hat die Wasserkraft in der Fallstudienregion eine relativ grosse Bedeutung. So gewinnen die Elektrizitätswerke Davos und die REpower einen bedeutenden Teil ihrer Stromproduktion aus Wasserkraft. Aufgrund der zunehmenden Gletscherschmelze (v.a. Silvretta- und Verstanlagletscher) ist in Klosters vorübergehend mit einem zunehmenden Abfluss der Landquart zu rechnen. Das Gletscherschmelzen wird mit grosser Sicherheit weiter andauern, bzw. sich weiter beschleunigen. Mittel- bis langfristig ist daher für die Landquart aber ein Übergang von einem glazial-nivalen zu einem nivalen Abflussregime zu erwarten, was zu einer Verringerung des Wasserangebots zur Stromproduktion führen könnte.

In Davos spielt die Energie aus Photovoltaik eine zunehmende Rolle, da aufgrund der Höhenlage und der zahlreichen wolkenarmen bis wolkenfreien Tage günstige Bedingungen für die Stromgewinnung herrschen. Eine allfällige Zunahme der Produktion von erneuerbaren Energien dürfte jedoch vor allem in den verbesserten technischen Möglichkeiten begründet sein.

Im Zuge der allgemeinen Diskussionen und als Folge von ökonomischen bzw. politischen Anreizsystemen erlangen alternative Energieträger zunehmende Bedeutung, was als indirekte Konsequenzen der Klimaänderung betrachtet werden kann.

Ob eine primär aus klimatischen Gründen hervorgerufene Zuwanderung in die Region Davos-Klosters zu einer Erhöhung der Nachfrage nach Energie führt, ist mit zu grossen Unsicherheiten behaftet und dürfte eine untergeordnete Rolle spielen.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

Lüthi, M.P.; Bauder, A.; Funk, M. (2010): Glacier Volume Change Reconstruction from Length Change Data of the Swiss Alps. Journal of Geophysical Research (Earth Surface Processes) vol. 115, F04022, doi:10.1029/2010JF001695;

Teich, M.; Lardelli, C.; Bebi, P.; Gallati, D.; Kytzia, S.; Pohl, M.; Pütz, M.; Rixen, C.; 2007: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Kurzfassung. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 35 S.

Tourismus

Auswirkungen des Klimawandels

Der Wintertourismus trägt allein durch die touristische Nachfrage zu 26% des regionalen Volkseinkommens der Gemeinde Davos bei. Die Bergbahnen generieren einen Anteil von 5% am gesamten Davoser Volkseinkommen.

Für den Wintertourismus in der Fallstudienregion spielt die Schneesicherheit eine bedeutende Rolle. Datenanalysen zeigen, dass seit 1980 die Schneedecke in Höhenlagen unterhalb von 1'300 m ü.M. bereits statistisch signifikant abgenommen hat. In höher gelegenen Regionen ist vor allem eine Abnahme der mittleren Schneehöhe in der für den Skisport wichtigen Frühwinterperiode (November, Dezember) zu beobachten. Dieser Trend dürfte sich bei einer fortgesetzten Temperaturzunahme in den nächsten Jahren noch weiter akzentuieren. Von der Abnahme der Schneehöhe in tieferen

Lagen ist vor allem Klosters betroffen, da dort der Betrieb der Tallifte bei Schneeknappheit nicht mehr aufrechterhalten kann. Die höher gelegenen Skigebiete sind weniger betroffen, da zum einen die Abnahme der natürlichen Schneedecke nicht so gravierend ist, zum anderen durch technische Beschneidung geringere Schneehöhen ausgeglichen werden können. Berechnungen zeigen, dass in Davos durch schneearme Winter ohne den Einsatz von Kunstschnee ein Verlust von bis zu 10% des regionalen Volkseinkommens auftreten könnte. Die Davoser Wirtschaft profitiert damit erheblich von der Kunstschneeproduktion durch die Bergbahnen.

Für den Sommertourismus kann erwartet werden, dass die Attraktivität der Region bedingt durch steigende Temperaturen im Mittelland aber auch in den traditionellen Sommertourismusgebieten am Mittelmeer zunimmt. Steigende Wassertemperaturen des Davoser Sees machen diesen als Badesee zunehmend attraktiver. Steigende Energiepreise könnten auch dafür sorgen, dass Erholung vermehrt im eigenen Land bzw. im nahen benachbarten Ausland gesucht wird.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

Teich, M.; Lardelli, C.; Bebi, P.; Gallati, D.; Kytzia, S.; Pohl, M.; Pütz, M.; Rixen, C. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneidung. Kurzfassung. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 35 S.

Infrastrukturen und Gebäude

Auswirkungen des Klimawandels

Durch häufigere Murgänge in den Seitentälern und häufigere Hochwasserereignisse im Talboden können Infrastrukturen und Gebäude häufiger betroffen werden, wodurch grössere Schäden entstehen. Durch die neueren Gefahrenkarten in denen aktuelle Ereignisse (z.B. Klosters 2005) berücksichtigt sind und entsprechenden Anpassungen in der Nutzungsplanung ist die Landnutzung an Gefährdungen durch Muren und Hochwasser weitgehend anpasst worden. Dies schliesst jedoch nicht aus, dass auch zukünftig Schäden auftreten können, insbesondere weil der Druck auf die noch freien Bauplätze, die oft in der blauen Zone liegen, gross ist und das Schadenpotential damit tendenziell zunimmt. Die Schadensumme im Ereignisfall dürfte daher tendenziell zunehmen.

Da allgemeine Aussagen über eine Veränderung der Häufigkeit und Intensität der Lawinenaktivität im Moment nicht möglich sind, können hinsichtlich einer Veränderung der lawinenbedingten Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden keine Aussagen gemacht werden.

Die Summe der Elementarschäden in Davos vom 1.1.1990 bis 23.12.2010 bedingt durch Hochwasser, Überschwemmung, Rufen, Erdrutsch, Steinschlag, Schneedruck und Lawine betrug rund 7.3 Mio. CHF mit einem Mittelwert von jährlich 12'504 CHF, einem Median von 2'900 CHF und einer Schwankung zwischen 230 CHF und 590'000 CHF.

Die Hagelgefährdung der Region ist gemäss Hagelregister gering. Die Grössen der zu erwartenden Hagelkörner bei einem 50-jährlichen und einem 100-jährlichen Ereignis liegen bei 1 cm, bei einem 300-jährlichen Ereignis bei 2 cm. Eine markante Zunahme von Hagelschäden ist daher nicht zu erwarten.

Temperaturbedingte Schäden an Gleisanlagen sind in der Höhenlage um 1500-1600 m ü. M. nicht zu erwarten.

Da die Hausdächer auf grosse Schneelasten konzipiert sind, ist bei zunehmenden Winterniederschlägen nicht mit einer Zunahme von Schäden durch Schneelasten zu rechnen.

Durch Auftauen von Permafrostböden sind v.a. die Bergstationen der Skigebiete und die militärischen Anlagen (einschliesslich SKYGUIDE) auf dem Weissfluhjoch z.B. durch Bodenabsenkungen möglicherweise betroffen.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

http://www.hagelregister.ch/D/ESR_Reg18_d.asp

Siedlungswasserwirtschaft

Auswirkungen des Klimawandels

Während die Wintermonate kann der Wasserverbrauch durch die technische Beschneigung der Skipisten zunehmen. Schon heute ist der Wasserverbrauch durch die technische Beschneigung in Relation zum gesamten Trinkwasserverbrauch sowie zu anderen touristischen Aktivitäten beträchtlich. So gehen rund 20-35% des gesamten Wasserverbrauchs der Region auf den Wasserbedarf durch technische Beschneigung. Zwar ist eine Effizienzerhöhung von modernen Beschneigungsanlagen zu erwarten, es ist aber unklar, ob diese die steigende Nachfrage wettmacht. Der der Wasserbedarf für technische Beschneigung dürfte zunehmend in Konkurrenz mit anderen Bedürfnissen stehen.

In den Sommermonaten dürften Trockenperioden zu einem zunehmenden Wasserbedarf in der Grünlandwirtschaft und damit zu einem weiteren Bedarf an Wasser führen. Eine allfällige Zunahme des Sommertourismus wird ebenfalls zu einer Zunahme der Nachfrage nach Trinkwasser führen. Da langfristig die Retention von Wasser durch die Gletscher generell zurückgeht, muss generell mit einer Verknappung der Wasservorräte gerechnet werden, obschon diese Aussage wegen der unsicheren Entwicklung bezüglich der Niederschläge in den Sommermonaten auf unsicheren Annahmen beruht. Die Quellschüttungen dürften aber in Zukunft stärker schwanken. Bereits im Sommer 2003 war die lange Trockenperiode in der Quellschüttung spürbar.

Einfluss anderer Wirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

Teich, M.; Lardelli, C.; Bebi, P.; Gallati, D.; Kytzia, S.; Pohl, M.; Pütz, M.; Rixen, C. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Kurzfassung. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 35 S.

Biodiversität

Auswirkungen des Klimawandels

In der Fallstudienregion nimmt die Vielfalt an Lebensräumen wahrscheinlich zu, da in der Höhe ein Stück Kryosphäre wegschmilzt und die tieferen, wärmeren Lagen noch wärmer werden.

Die Vielfalt an Arten nimmt wahrscheinlich zu, da die Lebensräume zunehmen und da die alles Leben limitierende Kälte zurückgeht. Dies bedeutet einerseits mehr und ertragreichere Kulturen/Kulturpflanzen, aber auch mehr Pathogene und Parasiten.

Die Vielfalt auf genetischer Ebene könnte zunehmen, da "Einwanderer" neues Genmaterial einbringen.

Diese Vermutungen gelten v.a. ohne einen Eingriff des Menschen. Es darf vermutet werden, dass bis anhin die Biodiversität in erster Linie durch die direkten Eingriffe des Menschen viel mehr bedroht ist, als durch das Klima.

Modelle, welche voraussagen, dass in 100 Jahren fast die Hälfte aller alpinen Arten verschwunden

sein dürfte, werden für die Fallstudienregion als sehr extreme Prognose beurteilt.

Einfluss anderer Auswirkungsbereiche

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Auswirkungen anderer Einflussfaktoren

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Anpassungsmassnahmen

Siehe Informationen für ganze Schweiz.

Literatur

Siehe Literatur für ganze Schweiz

Relevanz von Gefahren/Effekten und Indikatoren pro Auswirkungsbereich

Die Ergebnisse der Experteninterviews zu den relevanten Gefahren und Effekten pro Auswirkungsbereich²⁴⁾ in der Schweiz sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21 Relevante Gefahren und Effekte pro Auswirkungsbereich
(orange: relevant, gelb: weniger relevant oder unterschiedliche Beurteilung durch Experten)

	Änderung Intensivniederschläge					Änderung mittlere Niederschläge			Änderung Extremtemperatur		Änderung mittlere Temperatur					Änderung Windregime
	Starker Schneefall	Lawinen	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Unwetter (inkl. Erosion)	Änderung im Niederschlagsregime	allg. Trockenheit	Waldbrand	Kältewelle	Hitzewelle	Frost	Reduktion Schneedecke / Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Änderung im Temperaturregime	Sturm / Orkan
Gesundheit																
Landwirtschaft																
Waldwirtschaft																
Energie																
Tourismus																
Infrastrukturen und Gebäude																
Siedlungswasserwirtschaft																
Biodiversität																

24) Die Bezeichnungen der Auswirkungsbereiche wurden nach den Experteninterviews z.T. noch angepasst. Daher stimmen die Bezeichnungen teilweise nicht mit den Ausführungen in 2.3 überein.

Die Zuweisung der Gefahren/Effekten zu den drei Verteilungstypen für die WDF durch die Experten ist in Tabelle 22 dargestellt. Diese gelten für relativ kleine räumliche Einheiten. Je grösser die räumliche Einheit ist, desto eher nähert sich die Verteilung einer Normalverteilung an (vgl. Kapitel 3.3.4).

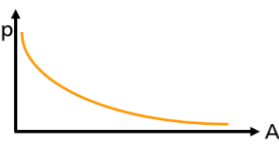
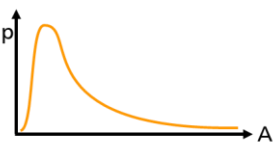
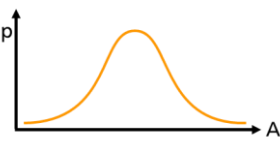
Exponential-/Extremalverteilung	Log-Normalverteilung	Normalverteilung
		
<ul style="list-style-type: none"> • Starker Schneefall • Lawinen (Extremal-V.) • Hochwasser • Murgang/Erdrutsch/Hangmure • Steinschlag, Fels-/ Bergsturz • Trockenheit • Sturm/Orkan • (Unwetter) • (Waldbrand) 	<ul style="list-style-type: none"> • Murgang/Erdrutsch/Hangmure • Hitzewelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung im Niederschlagsregime • Änderung im Temperaturregime • Reduktion Schneedecke/Gletscher • Auftauen Permafrost

Tabelle 22
Formen der WDF für Gefahren und Effekte

Die Ergebnisse zu den relevanten Indikatoren pro Auswirkungsbereich²⁴⁾ für die ganze Schweiz sind in Tabelle 23 dargestellt.

	Tote	Verletzte/Erkrankte	Negativ Betroffene									
			Evakuierte	In Versorgung Eingeschränkte	Wohnortverlust	Arbeitsplatz	Positiv Betroffene	Erträge	Kosten: direkte K. /Sachsch.	Kosten: indirekte	Artenvielfalt (# Arten)	Fläche der wertvollen Biotope
Gesundheit												
Landwirtschaft												
Waldwirtschaft												
Energie												
Tourismus												
Infrastrukturen und Gebäude												
Siedlungswasserwirtschaft												
Biodiversität												

Tabelle 23
Relevante Indikatoren pro Auswirkungsbereich
(orange: relevant, gelb: weniger relevant oder unterschiedliche Beurteilung durch Experten)

Exemplarische vertiefte Abschätzung „Lawinen – Gebäude und Infrastrukturen“

Einführung

Im Folgenden ist ein möglicher Ansatz dargelegt, wie die Auswirkungen einer Änderung der Lawinenaktivität auf Gebäude und Infrastruktur quantitativ abgeschätzt werden können. Es handelt sich dabei um eine exemplarische Quantifizierung des Schadenausmasses zur Demonstration der Funktionsweise, nicht jedoch um eine bestmöglich abgestützte und belastbare Feststellung der Risiken. Die Grundlagen für diese Abschätzungen sind die Ergebnisse des Projekts „Integrales Lawinenmanagement (ILM) Davos (Guler et al., 2006). In diesem Projekt werden die Gefahrenkarten mit der Landnutzung überlagert um allfällige Schutzdefizite zu erkennen und Handlungsbedarf aufzuzeigen. Da alle relevanten Lawinengebiete in die Studie einbezogen wurden, bietet das ILM für Davos eine sehr gute Grundlage für eine grobe Abschätzung der Risiken infolge Lawinen.

Änderungen in der Lawinenaktivität

Die Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Lawinenaktivität sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. In vergangenen Studien konnte bis anhin kein Signal hinsichtlich einer Veränderung der Lawinenaktivität festgestellt werden. Mit der prognostizierten Erhöhung der mittleren Temperaturen und erhöhten Niederschlägen könnten jedoch häufiger Lawinenperioden mit der Folge von schadenbringenden Lawinen in Siedlungsgebieten und auf Verkehrsachsen auftreten. Obwohl die wichtigsten Lawinenzüge in Davos verbaut sind, können intensive Lawinenperioden besonders exponierte Gebäude beschädigen oder zerstören. Organisatorische Massnahmen können im Siedlungsgebiet die Sperrung von Zufahrtswegen und die temporäre Evakuierung von Gebäuden zur Folge haben. Die Verkehrsinfrastruktur (Strasse und Schiene) kann durch häufigere Sperrungen und erhöhte Aufwendungen für die Räumung betroffen sein.

Methodik - Datengrundlagen

Im Rahmen des Projekts ILM-Davos (Guler et al., 2006) wurden alle Prozessbereiche, die durch Lawinen betroffen sind, hinsichtlich der Schadenkategorien Wohngebiete und Erschliessung beurteilt, wobei bei den Wohngebieten auch die Anzahl der potentiellen Personen einbezogen wurde. Als Datengrundlagen dienten die Gefahrenkarten, die Erfassungsbereiche (Bereiche mit Ereignis vollständigen oder unvollständigen Ereigniskataster), der Zonenplan, die Katasterblätter der Gebäudeversicherung Graubünden, der Strassenkataster, die Bodenbedeckung sowie die Anzahl der Briefkästen als Hilfsgrösse für die Bestimmung der Anzahl der exponierten Personen (An-

nahme: 2.4 Personen pro Haushalt). Aus der Überlagerung der Gefahrenkarten mit den Nutzungskategorien („extensive“, „mittlere“ und „intensive“ Nutzung) wurden neun Risikotypen ausgeschieden (vgl. Abbildung A1). Diese Matrix ergibt eine Differenzierung der Risikotypen nach Farbstufen und Zahlen.

Gefahrengebiete				
		Nutzungskategorie		
rot	3r	4r	5r	
blau	2b	3b	4b	
gelb	1g	2g	3g	
	extensive	mittlere	intensive	

Abbildung 9
Risikomatrix zur Differenzierung
von Risikotypen

In der roten Zone sind Personen sowohl innerhalb als auch ausserhalb von Gebäuden gefährdet, die Gebäude können zerstört werden. In der blauen Zone sind Personen innerhalb von verstärkten Gebäuden kaum gefährdet, jedoch ausserhalb; die Gebäude können beschädigt werden. In der gelben Zone sind Personen ausserhalb von Gebäuden gefährdet, Gebäude können leicht beschädigt werden.

Unter „intensiver Nutzung“ werden intensiv genutzte Gebäude im engeren Siedlungsbereich, Kantonsstrassen, kantonale Verbindungsstrassen oder Gemeindestrassen mit sehr hohen Personenfrequenzen sowie die Schienenwege der Rhätischen Bahn zusammengefasst. „Mittlere Nutzung“ umfasst intensiv genutzte Gebäude ausserhalb des engeren Siedlungsbereichs, Gemeindestrassen und kantonale Verbindungsstrassen mit geringen Personenfrequenzen, Privatstrassen mit verbindendem Charakter sowie solche mit mittleren oder hohen Personenfrequenzen. In die Kategorie „extensive Nutzung“ fallen extensiv genutzte Gebäude im übrigen Gemeindegebiet und Privatstrassen mit geringer Personenfrequenz.

Die ausgeschiedenen Gebiete können direkt aber auch indirekt betroffen sein, wenn die Zugänge gefährdet sind und deshalb gesperrt werden müssen. Die betroffenen Personen können daher zeitweise von der Umwelt abgeschnitten sein.

Durch die Überlagerung der Gefahrenkarten mit den Nutzungskategorien zusammen mit den oben erwähnten Grundlagen können die Anzahl der exponierten Personen, die exponierten Versicherungswerte der Gebäude, die Länge der potentiell betroffenen Erschliessungswege (Strasse und

Schiene) und die Flächenanteile in den Risikotypen (1g bis 5r, gemäss Abbildung A1) für jeden Prozessraum bestimmt werden.

Aus diesen Grundlagen lassen sich insgesamt 87 Prozessräume ausscheiden. Davon sind in 36 Prozessräumen bewohnte Gebäude potentiell betroffen, in welchen 1790 Personen wohnen. Das Schadenpotential in diesen Flächen beträgt rund 380 Mio. Fr., das entspricht 85% des gesamten Schadenpotentials für Gebäude in Höhe von rund 433 Mio. Fr. in lawinengefährdeten Gebieten. In den übrigen Prozessräumen wohnen keine Personen. Insgesamt sind rund 28 km Verkehrswege (Strasse und Schiene) gefährdet.

Angenommene Szenarien

Das betrachtete Szenario wurde wie folgt definiert: Intensive Schneefälle in mehreren aufeinander folgenden Niederschlagsperioden begleitet von heftigen Winden sorgen Mitte Februar zur Zeit der Sportferien für eine prekäre Lawinensituation mit Gefahrenstufe 5 an mehreren Tagen.

Die Züge der Rhätischen Bahn von Landquart nach Davos verkehren mit Verspätungen, jedoch meist planmässig. Die Nationalstrasse A28 ist ab Landquart schneebedeckt, in der Nacht und den frühen Morgenstunden wegen Verzögerungen in der Strassenräumung zum Teil nur einspurig befahrbar. An vereinzelten Punkten müssen einzelne Abschnitte aus Sicherheitsgründen gesperrt werden. Gäste und Einwohner werden zum Teil per Helikopter ausgeflogen.

Die Seitentäler der Landschaft Davos sowie die Zufahrt nach Davos-Monstein sind zeitweise aus Sicherheitsgründen gesperrt und von der Aussenwelt abgeschnitten. An exponierten Gebäuden sind Schäden durch Lawinen aufgetreten. Lawinen treten vereinzelt bis an den Rand der Kernsiedlungen von Davos auf. Die Bewohner von lawinengefährdeten Gebäuden haben Ausgangssperre, zum Teil müssen Bewohnerinnen und Bewohner evakuiert werden. Die Skigebiete müssen an mehreren Tagen ihren Betrieb einstellen.

Unter den aktuellen Klimabedingungen wird diesem Szenario („Klima 2010“) eine Jährlichkeit von etwa 20 Jahren zugeordnet. Für ein schwächeres Klimaszenario („Klima 2050-A“) wird die Jährlichkeit konstant gelassen, für ein stärkeres Klimaszenario („Klima 2050-B“), welches häufigere, stärkere Schneefälle mit entsprechender Lawinenaktivität zur Folge haben könnte, wird eine grössere Häufigkeit angenommen, so dass für dieses Szenario eine Jährlichkeit von 10 Jahren zugrunde gelegt wird.

Als sozioökonomische Szenarien wird die aktuelle Situation angenommen. Für das sozioökonomische Szenario 2050 („Sozio 2050“) wird eine Zunahme der Sachwerte von zwischen 2010 und 2050 von 30% angenommen.

Methodik - Abschätzung Schadenausmass Personen und Gebäude

Ohne Anspruch auf eine genaue und vollständige Risikoanalyse zu legen, wurde das Schadenausmass für dieses Szenario auf Basis der in den einzelnen Prozessräumen exponierten Personen und Gebäude bestimmt. Dabei wurde angenommen, dass nur in jedem dritten Lawinenzug eine Lawine niedergeht (Faktor $p(l)$), die wiederum in der jeweiligen Gefahrenzone j nur einen gewissen Anteil der Gebäude einschliesslich der sich darin befindlichen Personen betrifft (Faktor $p(G)_j$). Daraus lässt sich ein Betroffenheitsfaktor $f(P)$ für Personen und $f(G)$ für Gebäude berechnen, wobei $f(P) = f(G)$.

$$f(P)_j = p(l) \cdot p(G)_j \text{ wobei } f(P)_j = f(G)_j$$

Zusätzlich wurde für jede Gefahrenzone ein Verletzlichkeitsfaktor für Personen (Letalität l) und Gebäude (Schadenempfindlichkeit se) angenommen (Quelle: www.econome.admin.ch). Es wurde weiter angenommen, dass keine anderen Sicherungsmassnahmen (z.B. Evakuierungen und Sperrungen) getroffen werden.

	Rotes Gebiet	Blaues Gebiet	Gelbes Gebiet
Letalität Personen in Gebäuden (l)	0.4	0.1	0.0015
Schadenempfindlichkeit Gebäude unverstärkt (se)	0.8	0.3	0.03
Faktor $p(l)$	0.3	0.3	0.3
Faktor $p(G)$	0.05	0.01	0
Betroffenheitsfaktor Personen und Gebäude $f(P)$ und $f(G)$	0.015	0.003	0

Tabelle 24
Faktoren zur Berechnung des
Schadenausmasses für ein
Szenario.

Das Schadenausmass für Personen $A(P)$ und für Gebäude $A(G)$ im gewählten Szenario berechnet sich damit wie folgt:

$$A(P) = N(P) \cdot \lambda \cdot f(P) \text{ bzw. } A(G) = W(G) \cdot se \cdot f(G),$$

wobei $N(P)$ die Anzahl Personen und $W(G)$ der Wert der Gebäude im betroffenen Perimeter beschreibt.

Gemäss diesen Annahmen ergibt sich folgendes Schadenausmass für die betrachteten Prozessräume: (36 bewohnte Prozessräume von insgesamt 87 durch Lawinen potentiell betroffene Prozessräume):

In den 36 bewohnten Prozessräumen sind zwischen 6 und 7 Personen betroffen, unter Annahme der jeweiligen Letalitätsfaktoren ist 1 Todesfall zu erwarten. Für die Szenarien „Klima 2010“ und „Klima 2050-A“ ergeben sich damit jährliche Risiken von 0.05 Todesfällen pro Jahr und für Szenario 2050-B von 0.1 Todesfällen pro Jahr (alle ohne organisatorische Massnahmen).

Für das sozioökonomische Szenario „Sozio 2050“ ergibt sich für „Klima 2010“ und „Klima 2050-A“ ein jährliches Risiko von 0.075 Todesfällen pro Jahr und für Szenario „Klima 2050-B“ von 0.15 Todesfällen pro Jahr (alle ohne organisatorische Massnahmen).

Bezüglich Gebäuden ist aus allen 87 Prozessräumen ein Schadenausmass von rund 930'000 Fr./Ereignis zu erwarten, was einem jährlichen Risiko bei Szenario „Klima 2010“ (und „Klima 2050-A“) von 46'500 Fr./Jahr entspricht. Für das Szenario „Klima 2050-B“ ergibt sich ein jährliches Risiko von 93'000 Fr./Jahr

Für das sozioökonomische Szenario „Sozio 2050“ ergibt sich für „Klima 2010“ und „Klima 2050-A“ ein Schadenausmass von 1.2 Mio. Fr./Ereignis, was einem jährlichen Risiko von 60'000 Fr./Jahr entspricht. Für Szenario „Klima 2050-B“ errechnet sich ein Risiko 120'000 Fr. /Jahr.

Abschätzung Schadenausmass verschüttete Strasse und Schiene

Es wurden alle Strassen- und Schienenabschnitte einbezogen, die von Lawinen betroffen sein können und die innerhalb der Erfassungsbereiche liegen. Erfassungsbereiche sind solche Gebiete, in denen Ereignisse bekannt sind und die für die Gefahrenbeurteilung von besonderem Interesse sind. Insgesamt befinden sich 28 km in gefährdetem Gebiet. Gleich wie bei den Gebäuden wurde angenommen, dass nur in jedem dritten Lawinenzug eine Lawine niedergeht (Faktor $p(I)$), die wiederum im blauen Gefahrengebiet nur 5% der Strecke und im roten Gebiet 10% der Strecken verschütten (Faktor $p(S,B)_j$). Daraus lässt sich ein Betroffenheitsfaktor $f(S,B)$ für Strasse und Bahnlinie berechnen. Der Anteil verschüttete Strasse und Schiene ($A(S,B)$) lässt sich somit berechnen mit:

$$A(S,B) = L(S,B)_j \cdot f(S,B),$$

wobei $L(S,B)_j$ die Länge der Strassen- und Bahnabschnitte in den Gefahrengebieten (gelb, blau und rot) ist. Die Räumungskosten pro lm Lawinenschnee betragen rund 400 Fr./lm auf der Schiene, für die Strasse werden rund 200 Fr./lm angenommen. Daraus werden mittlere Räumungskosten von rund 300 Fr./lm angenommen.

Mit diesen Angaben errechnen sich rund 600 m verschüttete Strassen- und Bahnlinie. Daraus ergeben sich Räumungskosten von rund 180'000 Fr. pro Ereignis. Für die Klimaszenarien „Klima 2010“ und „Klima 2050-A“ entspricht dies einen jährlichen Risiko von 9'000 Fr./Jahr und für das Szenario „Klima 2050-B“ von 18'000 Fr./Jahr.

A5 Detaillierte Ergebnisse des Methodentests Stadt Zürich

Im Folgenden ist die Diskussion zur Eignung und der Relevanz der Auswirkungsbereiche, Gefahren/Effekte und Indikatoren im Rahmen des Workshops mit Vertretern der Stadtverwaltung Zürich dargestellt. Es handelt sich dabei um Ergänzungen zu den in Kapitel 5.2 dargestellten Inhalten.

Beurteilung der Eignung und der Relevanz der Auswirkungsbereiche im Rahmen des Workshops

In der folgenden Tabelle sind pro Auswirkungsbereich relevante Aspekte der Auswirkungen des Klimawandels auf die einzelnen Auswirkungsbereiche zusammengestellt und es wurde die Relevanz klimabedingter Auswirkungen auf diese Auswirkungsbereiche abgeschätzt (0=nicht relevant, bis 3=sehr relevant). Die Einschätzungen der Relevanz wurden generell für Schweizer Städte gemacht, müssen aber vorsichtig interpretiert werden, da sie nicht breit abgestützt sind und keine Experten aus anderen Städten beteiligt waren.

Auswirkungsbereich	Relevante Aspekte	Relevanz (0-3)
Infrastrukturen und Gebäude	Im Stadtgebiet könnten auch Freiräume und Grünflächen als Infrastrukturen berücksichtigt werden. Oder es wird ein separater Auswirkungsbereich definiert.	3
Gesundheit	Bei Hitzewellen ist neben einer steigenden Alterssterblichkeit und mehr Hitzetoten beispielsweise aufgrund von Kreislauferkrankungen auch ein erhöhter Betreuungsaufwand für Pflegedienste sehr relevant (indirekte Kosten). Die klimawandelbedingte abnehmende Produktivität durch Hitze ist schwierig abzuschätzen und wäre zudem sinkenden Erträgen oder Arbeitskosten (indirekte Kosten) zuzuordnen. Ausserdem ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Hitzebelastung auch die Klimatisierung zunimmt (autonome Anpassung). Letztlich gibt es Indizien auf eine positive Wirkung, dass nämlich die Anzahl Suizidfälle bei schönerem Wetter abnehmen (Erfahrung aus Hitzesommer 2003). Unklar ist allerdings, ob höhere Temperaturen auch mit „schönerem Wetter“ einhergehen werden.	3

Landwirtschaft	In den meisten Städten keine Bedeutung (evtl. als Naherholungsoption oder als symbolische Funktion).	0-1
Waldwirtschaft	Waldflächen im Stadtgebiet stellen häufig wichtige Erholungsräume dar. Die Stadt Zürich verfügt z.B. über grössere Waldflächen.	1
Energie	Die Energieversorgung ist von hoher Bedeutung. Es wird ein Rückgang des Heizenergiebedarfes erwartet. Der dem gegenüberstehende, erwartete höhere Energieverbrauch zur Klimatisierung im Sommer entfällt in dieser Betrachtung, da dieser an Anpassungsmassnahmen gebunden ist und daher in der Klimarisikoanalyse noch nicht berücksichtigt werden soll.	2 (schwierig)
Tourismus	Auswirkungen des Klimawandels sind hier sehr unklar. Allenfalls Verlagerung des Zeitpunkts von Besuchen. Aussagen, ob insgesamt mehr oder weniger Touristen in eine Stadt kommen, sind kaum möglich.	unklar (eher gering)
Biodiversität	Eher geringe Bedeutung in Städten, zumindest was aus ökologischer Sicht bewertbare Veränderungen in natürlichen Lebensgemeinschaften betrifft.	0-1
Siedlungswasserwirtschaft	Überlastungen der Entwässerungsinfrastruktur führen zu ungefilterter Entlastung in Flüsse. Dies könnte in Zukunft häufiger der Fall sein, eine Bewertung im Sinne der Indikatoren ist aber kaum möglich.	1

Stadtspezifische Bedeutung von Freiräumen und Grünflächen

Die Diskussion zur Bedeutung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf Freiräume und Grünflächen in Städten und ihre Berücksichtigung in den Auswirkungsbereichen im Rahmen des Workshops lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Freiräume, Grünflächen und Gewässer (engl. open, green and blue spaces) sind wichtige Elemente zur Verbesserung des Stadtklimas, für die Erholungsnutzung der Bevölkerung und letztlich zur Anpassung an den Klimawandel in Stadtregionen. Aber auch Auswirkungen des Klimawandels werden sich hier bemerkbar machen. Dazu gehören ein erhöhter Bewässerungsbedarf bei Hitze und erhöhter Pflege- bzw. Aufräumaufwand nach Extremwetterereignissen, die entsprechenden Kosten und Arbeitsaufwand bringen. Daneben kommt es vermehrt zu Schäden an der Bepflanzung, wenn keine Klimaanpassung durch Bewässerung stattfindet. Der Ersatz von Pflanzen und Grünflächen dürfte ebenfalls nicht unerheblich sein (Sachschäden). Eine verstärkte Nutzung solcher „Kälteinseln“ bei zu-

nehmenden Temperaturen kann zu einer Übernutzung führen, was wiederum die Attraktivität der Erholungsräume mindert und damit deren Nutzen für die Bevölkerung reduziert.

Die Auswirkungen auf Freiräume und Grünflächen sollten bei der Erfassung von Risiken und Chancen von Klimaänderungen berücksichtigt werden können. Möglich wäre eine Subsumierung unter „Gebäude und Infrastrukturen“ oder die Definition eines zusätzlichen Wirkungsbereiches. In Absprache mit den Auftraggebern wurde ein zusätzlicher Wirkungsbereich definiert, da im deutschen Sprachraum – anders als im englischen Sprachraum („built environment“) – eine solche gemeinsame Betrachtung mit Gebäuden unüblich ist.

Beurteilung der Eignung und der Relevanz der Indikatoren im Rahmen des Workshops

Wie bei den Wirkungsbereichen wurden die Einschätzungen der Relevanz der Indikatoren im Zusammenhang mit Auswirkungen der Klimaänderung auf Städte generell für Schweizer Städte gemacht. Auch hier müssen sie aber vorsichtig interpretiert werden, da sie nicht breit abgestützt sind und keine Experten aus anderen Städten beteiligt waren.

Indikatoren	Geeignet? Änderungsvorschlag?	Relevanz? (0-3)
Erträge	Ja	0-1
Kosten: direkte Kosten/Sachschäden	Ja	3
Kosten: indirekte Kosten	Ja, Frage der Abgrenzung, wie weit diese berücksichtigt werden.	3
Tote	ja	2
Verletzte und Erkrankte	ja	2
Betroffene	ja, mögliche Subindikatoren „klimatisch Betroffene“ und „durch Schadenereignis Betroffene“	3
Artenvielfalt	Eher nein.	0
Fläche der wertvollen Biotope	Eher nein.	0