

Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz

Methodenbericht



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Abteilung Klima

3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt 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, Peter Locher, Lilian Blaser, Sabine Perch-Nielsen, Peter de Haan van der Weg (Ernst Basler + Partner)

Marco Pütz (WSL)

Michael Bründl (SLF)

Begleitung

Pamela Köllner-Heck, Thomas Probst, Roland Hohmann, Martina Zoller, Paul Filliger (BAFU)

Mai 2013

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) 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)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Bedarf einer Klimarisikoanalyse.....	1
1.2	Herausforderungen der Klimarisikoanalyse.....	1
2	Methode zur Analyse von Klimarisiken.....	5
2.1	Anforderungen an die Methode	5
2.2	Grundzüge der Methode.....	6
2.3	Szenarien für 2060	8
2.3.1	Klimaszenarien.....	8
2.3.2	Sozioökonomisches und demographisches Szenario	10
2.4	Gefahren und Effekte	11
2.5	Auswirkungsbereiche	12
2.6	Indikatoren	15
2.7	Monetarisierung	18
2.8	Risiken und Chancen, Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards	19
2.9	Betrachtete Auswirkungen	20
2.9.1	Vergleichbarkeit von Auswirkungen.....	20
2.9.2	Jährliche Variabilität der Auswirkungen.....	21
2.9.3	Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen.....	23
2.9.4	Analyse qualitativer und quantitativer Informationen	24
2.9.5	Sensitivitätsanalysen	24
2.9.6	Keine Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen.....	24
2.9.7	Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards	25
2.10	Umgang mit Unschärfen	25
2.11	Umgang mit qualitativen Informationen	27
2.12	Auswertungen und Ergebnisdarstellung.....	28
2.13	Dokumentation und Aktualisierung	30
3	Vorgehensschritte in kantonalen Fallstudien.....	31
3.1	Modul 1: Vorarbeiten.....	31
3.1.1	Schritt 1-1: Information und Einbezug der Fallstudienregion	31
3.1.2	Schritt 1-2: Beschreibung der Fallstudienregion	31
3.1.3	Schritt 1-3: Klima- und sozioökonomische und demographische Szenarien für die Fallstudienregion	32
3.2	Modul 2: Analyse der Risiken und Chancen in der Fallstudie..	32
3.2.1	Schritt 2-1: Relevanzbeurteilung und Identifikation näher zu analysierender Kombinationen.....	32

3.2.2	Schritt 2-2: Analyse der Risiken und Chancen	33
3.2.3	Schritt 2-4: Modellierung der Risiken/Chancen und der Unschärfen.....	36
3.2.4	Schritt 2-5: Hochskalierung der Fallstudienresultate auf den gesamten Grossraum	37
3.3	Modul 3: Synthese und Dokumentation	37
4	Möglichkeiten und Grenzen einer einheitlich anwendbaren Methode.....	39
5	Literatur.....	41

Anhang

A1 Monetarisierung-Ansätze

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. Das Bundesamt für Umwelt hat in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen Departementen und Bundesämtern eine nationale Anpassungsstrategie entwickelt. Als Grundlage für die Umsetzung der nationalen Klimaanpassungsstrategie soll eine Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen dienen. Im Rahmen des Pilotprojekts „Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz“ wurde 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 bildet die Basis, um in weiteren Schritten die klimabedingten Risiken und Chancen für mehrere Fallstudien in der Schweiz zu analysieren und auf dieser Grundlage die prioritären Handlungsfelder bei der Anpassung an die Klimaänderung festzulegen und Massnahmen zu planen.

Identifizierung, Bewertung und sektorübergreifender Vergleich

Die erste vollständige Anwendung der Methode erfolgte für die Fallstudie Kanton Aargau. Im Rahmen dieser Fallstudie wurden weitere Erfahrungen mit der Methode gemacht. Um in künftigen Fallstudien einheitlich vorgehen zu können, wird die Beschreibung der Methode im vorliegenden Dokument aktualisiert. Diese ersetzt die Beschreibung in EBP/SLF/WSL (2011).

Aktualisierung der Methodenbeschreibung

1.2 Herausforderungen der Klimarisikoanalyse

Besondere Herausforderungen bei der Analyse klimabedingter Risiken und Chancen bestehen in folgenden Aspekten:

Besondere Herausforderungen

- Die Risiken und Chancen sollen anhand einer konsistenten und einheitlichen Methode auf integrale Weise bearbeitet werden, d.h. über alle

Konsistente und einheitliche Methode

	<p>betroffenen Politikbereiche und unter Einbezug wesentlicher Interdependenzen.</p>
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.
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"> • Komplexe Zusammenhänge und Unsicherheiten sollen berücksichtigt werden.
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 sozioökonomischen Entwicklungen der Genauigkeit der erwarteten Ergebnisse enge Grenzen setzen.
Flexibilität bezüglich Grösse des Untersuchungsraums	<ul style="list-style-type: none"> • Die Methode soll so flexibel ausgestaltet werden, dass sie auf unterschiedlich grosse Regionen (einzelne Gemeinden, Kantone oder allenfalls die Schweiz als Ganzes), die hinsichtlich der massgeblichen Einflussgrössen heterogen sein können, anwendbar ist.
Ausblenden autonomer Anpassung	<ul style="list-style-type: none"> • 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 analysiert 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, bei der Auswahl angemessener Anpassungsmaßnahmen ebenfalls zu berücksichtigen sind. Diese wichtige Perspektive erhöht die inhaltliche Komplexität nochmals.

Berücksichtigung
sozioökonomischer und
demographischer
Veränderungen erhöht
Komplexität

2 Methode zur Analyse von Klimarisiken

2.1 Anforderungen an die Methode

Studien zur quantitativen Analyse der Auswirkungen von Klimaänderungen sind mit wesentlichen methodischen Herausforderungen konfrontiert, die teilweise auch in der vorliegenden Methode von Bedeutung sind. Es handelt sich dabei v.a. um folgende methodischen Aspekte¹⁾:

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: Auswirkungen des Klimawandels betreffen sowohl Marktgüter als auch Nicht-Marktgüter. Um diese zu analysieren, sind unterschiedliche Methoden geeignet. Besonders im Zusammenhang mit der auf Studien beruhenden Bewertung von Nicht-Marktsgütern kann ein sogenannter Benefit Transfer notwendig sein, d. h. eine Übertragung der Werte vom „Studienort“ und -zeitpunkt zum „Politikort“ bzw. -zeitpunkt.
3. Berücksichtigte Auswirkungen: Die berücksichtigten indirekten Auswirkungen der Klimaänderung sind abzugrenzen und einzuschätzen, 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. 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 Beurteilung von Anpassungskosten stellt dies ein für die Ergebnisse häufig entscheidendes und damit vieldiskutiertes 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.

Szenarien

Bewertungsansatz

Berücksichtigte Auswirkungen

Aggregation über die Zeit

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

Räumliche Aggregation der
Auswirkungen

5. 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

6. 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.²⁾ 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.³⁾ Dies muss auch für die Anwendungen der hier entwickelten Methode gelten.⁴⁾

2.2 Grundzüge der Methode

Szenarien,
Gefahren/Effekte,
Auswirkungsbereiche,
Indikatoren

Mit der Methode werden die Risiken und Chancen für den Zeitraum 2045 bis 2074, oder vereinfachend 2060 als ein „mittleres Jahr 2060“ analysiert. Dazu wurden zunächst *Szenarien* zu möglichen *Klimaentwicklungen* und zur Entwicklung des *sozioökonomischen und demographischen Umfeldes* für das Jahr 2060 entwickelt. Dann werden die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene *Auswirkungsbereiche* (AWB) identifiziert. Die

- 2) Schon im Beitrag 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.
- 3) 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).
- 4) 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 2008). 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).

relevanten Auswirkungen werden wo möglich anhand von einheitlichen *Indikatoren* quantifiziert. Dabei werden im Rahmen der Methode zwei mögliche Rechnungsvarianten vorgeschlagen. Bei der Mindestvariante (oder Variante 1) wird empfohlen, zu Naturgefahren mindestens den Erwartungswert und die Auswirkungen zu bestimmen, die nur alle 100 Jahre erreicht werden. Bei Entwicklungen wie der Veränderung der Mitteltemperatur, bei denen die Erwartungswerte und die minimalen Auswirkungen durch diesen Effekt sehr unterschiedlich sind, sollten auch die geringsten jährlichen Auswirkungen, die in 100 Jahren erreicht werden, erfasst werden. Bei Variante 2 werden die Risiken der einzelnen Gefahren mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) charakterisiert (vgl. Abschnitt 2.9.2). Einen vollständigen Überblick über das Vorgehen gibt Kapitel 2.

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

1. Abgrenzung des Untersuchungsperimeters. Vorarbeiten
2. Beschreibung der verwendeten Klimaszenarien und Entwicklung des sozioökonomischen Szenarios für die Fallstudienregion. Diese Szenarien müssen mit den bestehenden Szenarien für die Schweiz kohärent sein.
3. Identifikation der relevanten Gefahren/Effekte pro Wirkungsbereich im Untersuchungsgebiet (inkl. Abstimmung mit Fallstudienregion).
4. Analyse pro Wirkungsbereich: Analyse pro Wirkungsbereich
 - a. Identifikation der wichtigsten Auswirkungen (inkl. Abstimmung mit Fallstudienregion).
 - b. Entwicklung eines Vorschlags zur quantitativen Abschätzung der Chancen und Risiken klimarelevanter Gefahren und Effekte im Wirkungsbereich (Variante 1: erwartete und 100-jährliche Auswirkungen pro Gefahr/Effekt heute und unter Berücksichtigung des sozioökonomischen Szenarios; Variante 2: Verteilung der Auswirkungen pro Gefahr/Effekt heute und unter Berücksichtigung des sozioökonomischen Szenarios).
 - c. Diskussion der Vorarbeiten und der Ansätze zur Analyse pro Wirkungsbereich mit Experten.
 - d. Quantitative Analyse der erwarteten und 100-jährlichen Auswirkungen und deren Unschärfen heute und unter dem sozioökonomischen Szenario (Variante 1) oder der Verteilungen heute und unter dem sozioökonomischen Szenario (Variante 2) unter Berücksichtigung der Diskussion mit Experten. Zur Berücksichtigung der Unschärfe vgl. 2.10.
 - e. Festlegen der erwarteten und 100-jährlichen Auswirkungen (Variante 1) bzw. Formulierung je einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF, Variante 2) pro Gefahr und Effekt unter heutigen Bedingungen und unter veränderten sozioökonomischen und demographischen Bedingungen, welche die Verteilung der jährlichen quantifizierbaren Auswirkungen im Untersuchungsgebiet beschreiben.

	f. Prüfung der Ergebnisse pro Auswirkungsbereich durch die Experten (Korreferat).
Analyse der klimabedingten Veränderungen der WDF und von Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren/Effekten	5. Abschätzung von Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren (Abhängigkeiten von gleichen Klimavariablen, gegenseitige Beeinflussung). Die Korrelationen werden für die Aggregation der Unsicherheiten in Variante 1, und für Variante 2 benötigt.
	6. Diskussion der heutigen Risiken und der Veränderung der Risiken mit Eintreten der Klimaszenarien, sowie der angenommenen Korrelationen zwischen den Gefahren/Effekten mit den Experten für die in der Fallstudienregion relevanten Gefahren/Effekte.
	7. Quantitative Abschätzung der Änderung der erwarteten Auswirkungen (Faktor, Variante 1) bzw. Formulierung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF, Variante 2) für die künftigen Zustände (unter Berücksichtigung der Klimaszenarien und des sozioökonomischen Szenarios).
Modellierung	8. Aggregation der Auswirkungen pro Gefahr/Effekt und Jahr: Zusammenzählen der Erwartungswerte (Variante 1) oder Modellierung von aggregierten Auswirkungen mit Monte-Carlo-Simulation (Variante 2). Die aggregierten Unschärfen müssen in beiden Varianten mit Monte-Carlo-Simulationen modelliert werden.
	9. Hochskalierung der Fallstudienresultate auf den Grossraum für die aggregierte Schweiz-weite Betrachtung.
Ergebnisdarstellung	10. Darstellung der Ergebnisse.

2.3 Szenarien für 2060

Klimaszenarien und sozioökonomisches und demographisches Szenario für 2060

Die jährlichen Auswirkungen des Klimawandels werden für 2060 und für zwei Klimaszenarien dargestellt. Im Folgenden werden die verwendeten Klimaszenarien erläutert. Um die Auswirkungen und (später) Anpassungsmassnahmen auch vor dem Hintergrund der sozioökonomischen und demographischen Veränderungen zu beurteilen, wurde zudem ein Szenario dazu entwickelt. Auch dieses wird im Folgenden vorgestellt.

2.3.1 Klimaszenarien

CH2011 als Basis für zwei Szenarien: schwache und starke Veränderung

Die im Rahmen der Fallstudie Aargau verwendeten Klimaszenarien basieren auf den breit abgestützten „Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH2011“ (CH2011, 2011). In der vorliegenden Fallstudie wurden die Resultate für die Region Nordostschweiz und der Zeithorizont 2060 (2045-2074) im Vergleich zu 1995 (1980-2009) gewählt. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat darauf basierend für diese Fallstudie zwei spezifische Konkretisierungen dieser Szenarien erstellt, die vereinfachend nach dem mittleren Zeitpunkt 2060 benannt sind: ein optimistisches Szenario „2060 - schwach“ und ein „business as usual“-Szenario „2060 - stark“. Das schwache Szenario entspricht dem erwarteten Klima, falls es gelingt, die

Treibhausgas-Emissionen weltweit bis 2100 um fast 90% zu reduzieren. Das Szenario „stark“ entspricht einer Weiterführung des derzeitigen Emissionstrends.

In folgenden Fallstudien sollten diese Szenarien oder vergleichbare Szenarien für die Regionen Nordwestschweiz, Südschweiz oder Alpenraum verwendet werden. Dazu kann auf die regionalen Klimaszenarien der MeteoSchweiz zurückgegriffen werden (vgl. MeteoSchweiz 2013).

Verwenden dieser oder vergleichbarer Szenarien für die Regionen CHW und CHS

Temperatur

Die Zunahme der Temperatur in der Schweiz wird von allen Trends und Modellen bestätigt. Die Unsicherheit liegt bei vorgegebenem Emissionsszenario in der genauen Höhe der Zunahme. Für diesen Bericht wird für das Szenario „2060 – schwach“ der Median des Stabilisierungsszenarios (RCP3PD) übernommen (Rundung auf 0.1°C). Für das Szenario „2060 – stark“ wird die obere Grenze des Szenarios gewählt, das dem heutigen Trend entspricht (A1B). Am Beispiel der Temperatur in den Sommermonaten (Juni, Juli, August) bedeutet dies eine Erwärmung um 1.6°C resp. 3.3°C.

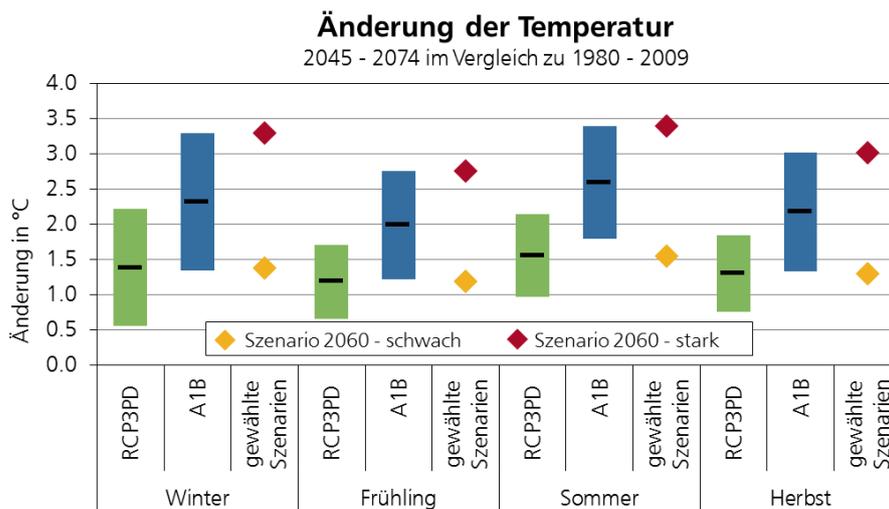


Abbildung 1
Änderung der mittleren Temperatur in der Nordostschweiz zwischen 2045-2074 und 1980-2009 für die Emissionsszenarien RCP3PD, A1B sowie für die in diesem Projekt gewählten Szenarien. Die Balken mit Strichen zeigen die tiefe, mittlere und hohe Schätzung.

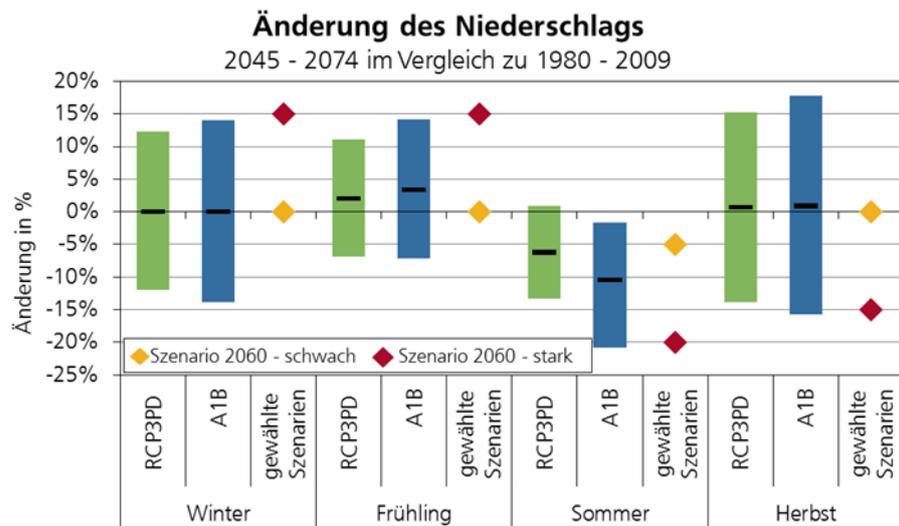
Niederschlag

Wegen der besonderen geographischen Lage der Schweiz ist die Entwicklung der Niederschläge schwierig zu projizieren. Im Norden Europas zeigen die globalen Szenarien eine Zunahme der Niederschläge, im Süden werden sie dagegen abnehmen, besonders im Sommer. Die Schweiz befindet sich im Frühling, Herbst und Winter nahe an dieser Grenze zwischen Norden und Süden. In jeder Saison ist in der Schweiz eine Zu- oder Abnahme der Niederschläge möglich ist. Somit ist die zukünftige Entwicklung schwer abzuschätzen (CH2011, 2011). Einzig im Sommer sind die Anzeichen für eine Abnahme des Niederschlags deutlich.

Unklare Entwicklung der Niederschläge

Für das vom BAFU entwickelte, schwache Szenario wird wie bei der Temperatur der Median des Stabilisierungsszenarios (RCP3PD) übernommen (Rundung auf 5%). Für das starke Szenario (A1B) wird im Winter und Frühling die obere Bandbreite des Niederschlags vorgegeben, im Sommer und Herbst die untere (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2
 Änderung des mittleren Niederschlags zwischen 2045-2074 und 1980-2009 für die Emissionsszenarien RCP3PD, A1B sowie für die in diesem Projekt gewählten Szenarien schwache und starke Veränderung. Die Balken mit Strichen zeigen die tiefe, mittlere und hohe Schätzung



Andere Kombinationen bei Interpretation zu berücksichtigen

Auswirkungen einer möglichen Niederschlagsabnahme im Winter und Frühling resp. einer Zunahme im Herbst werden im Folgenden nicht berücksichtigt, sind aber ebenfalls möglich. Dies ist bei Entscheidungen, die auf Basis dieser Arbeit getroffen werden, zu berücksichtigen.

Extremereignisse

Unsicherheit über Entwicklung

Mit der Veränderung von Mittelwerten wird auch erwartet, dass sich die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen verändert und dies weitreichende Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft haben wird. Die Projektion von Extremereignissen ist jedoch äusserst schwierig und mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Änderung bei Sturm und Hagel über Sensitivitätsanalysen berücksichtigen

So ist beispielsweise unklar, ob Winterstürme oder Hagel zu- oder abnehmen werden. Da unterschiedliche Ausprägungen der Extremereignisse die Ergebnisse pro Szenario stark dominieren könnten, werden die Extremereignisse in den Klimaszenarien 2060-schwach und 2060-stark nicht direkt berücksichtigt. Sie sollten in Fallstudien jedoch im Rahmen von Sensitivitätsanalysen variiert und in der Interpretation der Gesamtergebnisse mitdiskutiert werden.

2.3.2 Sozioökonomisches und demographisches Szenario

Szenario CH → Szenario für Fallstudie

Für die schweizweite Analyse wurde ein sozioökonomisches und demographisches Szenario für die ganze Schweiz entwickelt, auf das sich später auch die regionalen sozioökonomischen Szenarien von den Fallstudien be-

ziehen sollen. Diese sollen konkretere und regionalspezifische Aussagen ermöglichen und zusätzlich auf regionale Daten zurückgreifen.

Das sozioökonomische und demographische Szenario formuliert relevante Entwicklungstrends in den verschiedenen Wirkungsbereichen. Es setzt sich zusammen aus qualitativen Fortschreibungen der gegenwärtigen Situation, aktuellen Trends, der heute angestrebten politischen Entwicklung und weiteren Annahmen. Die Aussagen wurden wenn möglich quantifiziert.

Inhalt

Die Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz fokussiert auf Wunsch der Auftraggeberin auf die Auswirkungen des Klimawandels. Nur wo es für die Interpretation der Ergebnisse von besonderer Relevanz ist, soll auf Annahmen und Ergebnisse einer Berücksichtigung des sozioökonomischen und demographischen Szenarios hingewiesen werden.

Stellenwert im Bericht

Fokus im Bericht auf
Klimaänderung

2.4 Gefahren und Effekte

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.

Unterschiedliche Auswirkungen
der Klimaänderungen

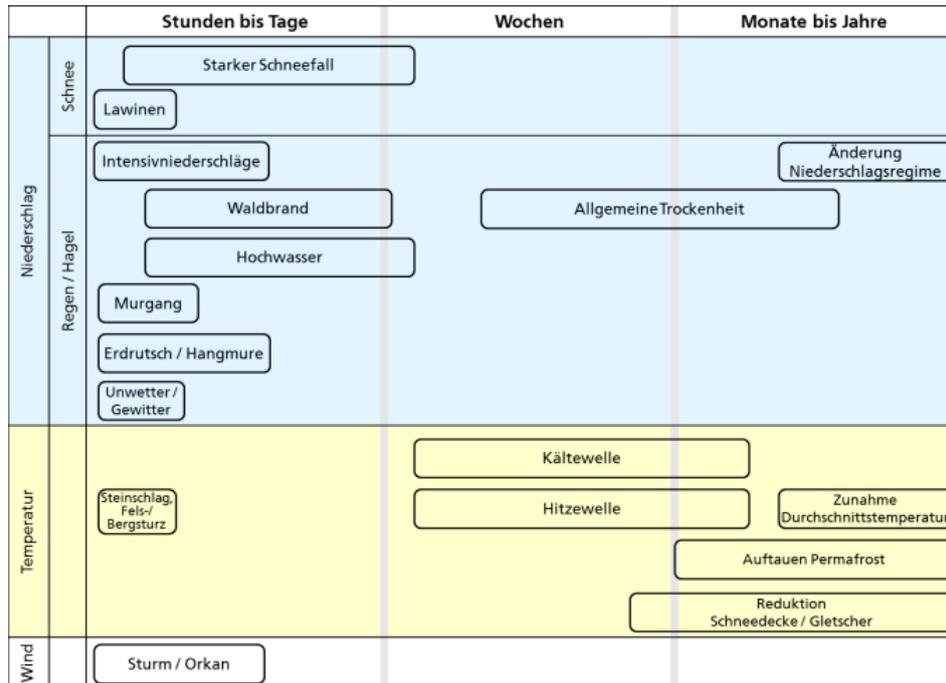
Zur Identifikation der relevanten klimabedingten Gefahren und Effekte wird von den wesentlichen Klimavariablen Temperatur, Niederschlag und Wind ausgegangen. Im nächsten Schritt wird bestimmt, in welcher Form sich diese auf Mensch, Wirtschaft oder Umwelt auswirken (z. B. Niederschlag – Intensivniederschlag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

Klimavariablen, Extreme und
Mittel

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.

Übersicht Gefahren und Effekte

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



Korrelationen

Das Auftreten verschiedener dieser Gefahren und Effekte ist nicht unabhängig voneinander. Dies hat keinen Einfluss auf die Erwartungswerte pro AWB, jedoch auf die Verteilungen und die Unschärfbereiche dieser Erwartungswerte. Daher werden Korrelationen zwischen den Gefahren und Effekten bei der Monte-Carlo-Modellierung der Verteilungen und der Unschärfen ebenfalls berücksichtigt. So gibt es beispielsweise eine positive Korrelation zwischen Hitzewellen und Waldbränden, da letztere zumindest während längeren Hitzewellen mit typischerweise unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen gehäuft auftreten.

2.5 Auswirkungsbereiche

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 Anpassungsstrategie (BAFU 2012) berücksichtigt: Gesundheit, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Umgang mit Naturgefahren, Raumentwicklung, Wasserwirtschaft, Biodiversitätsmanagement.

Die für die Analysen der Klimarisiken vorgeschlagenen Auswirkungsbereiche orientieren sich an diesen Sektoren. 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 und Leistungsfähigkeit der Bevölkerung • Kosten im Zusammenhang mit Behandlung und Pflege
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Landwirtschaftliche Produktion • Landwirtschaftliche Flächen • Landwirtschaftliche Betriebe
Wald/Waldwirtschaft	<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 und -verbrauch • Infrastrukturen der Energiewirtschaft (ausser Leitungsnetze → unter Infrastrukturen und Gebäude berücksichtigt)
Tourismus	<ul style="list-style-type: none"> • Touristischer Transport (z. B. Bergbahnen) • Unterkunft (Hotellerie, Parahotellerie) • Dienstleistungen (z. B. Gastronomie, Freizeit- und Sportanlagen) <p>Gebäude und Infrastrukturen dieser Bereiche werden im Auswirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen berücksichtigt.</p>
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"> • Wasserversorgung im Siedlungsbereich inkl. Wasserwerke • Brauch- und Abwasserleitungsnetz, Abwasser-Reinigungsanlagen • Schifffahrt auf Flüssen (insbes. Rhein) und Seen • Fischerei <p>Energieproduktion Wasserkraft wird im Auswirkungsbereich Energie berücksichtigt.</p> <p>Artenvielfalt aquatischer Ökosysteme und das Vorkommen aquatischer Lebensräume werden im Auswirkungsbereich Biodiversität berücksichtigt.</p>
Freiräume und Grünflächen	<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 bzw. Kosten verursachen, um diese weiterhin zu gewährleisten.
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 Arten-

	vielfalt und in der Lebensraum-Vielfalt). Änderungen in den Ökosystemleistungen, die durch ihren Nutzen für den Menschen definiert sind ⁵⁾ , 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). ⁶⁾
--	--

Nicht alle Auswirkungsbereiche sind für alle Untersuchungsperimeter relevant. Daher sollte eine Zusammenstellung der zu untersuchenden AWB für jede Fallstudie erfolgen.

Auswahl relevanter
Auswirkungsbereiche pro
Analyseeinheit

2.6 Indikatoren

Die Auswirkungen des Klimawandels werden mit Hilfe von Indikatoren gemessen. Diese wurden so gewählt, dass mit ihnen die Auswirkungen des Klimawandels in den betrachteten Auswirkungsbereichen und auch in den unterschiedlichen Grossräumen möglichst gut abgebildet werden können.

Messen der Auswirkungen mit
Indikatoren

Generell wurden 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.⁷⁾

Anforderungen an Indikatoren

Die Indikatoren erfüllen zudem folgende Eignungskriterien:

Eignungskriterien

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

5) 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.“

6) 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.

7) 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.

In Tabelle 2 ist der hier entwickelte Indikatorsatz dargestellt. Eine detailliertere Beschreibung der Indikatoren finden sich in Anhang A1.

Nicht alle Indikatoren in jeder
Fallstudie relevant

Bei jeder Anwendung der vorliegenden Methode ist bei den Analysen pro Auswirkungsbereich zu entscheiden, welche der Indikatoren sich gut eignen, um die Auswirkungen zu beschreiben. So werden nicht in jeder Fallstudie alle Indikatoren verwendet. Allenfalls können Indikatoren ganz aus dem Indikatorsatz gestrichen werden. Dies ist allerdings erst nach mehreren Fallstudien in sehr unterschiedlichen Regionen zu beurteilen.

	Indikator	Einheit	Beschreibung
Wirtschaft	Erträge	in Fr.	Erträge, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte zusätzlich anfallen bzw. Verringerung von Aufwendungen, z. B. Veränderungen der Produktivität (z. B. aufgrund höherer Zuwächse in Land- und Waldwirtschaft)
	Aufwendungen	in Fr.	Aufwendungen, die infolge der berücksichtigten Gefahren/Effekte zusätzlich entstehen, bzw. Reduktion von Erträgen, z. B. zusätzliche Kosten für Trinkwasseraufbereitung
	Vermögensschäden und Bewältigungskosten	in Fr.	Schäden an Sachwerten (z. B. Gebäudeschäden infolge Naturgefahren) oder finanziellem Vermögen (z. B. Kosten von Einsatzkräften zur Räumung von Übermürungen).
Gesellschaft	Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	Einschränkung des Wohlbefindens durch Hitzetage in Verbindung mit Tropennächten. Der Wert gilt für die Hälfte der Hitzetage mit Tropennächten (Annahme: nur jeder zweite solche Tag führt tatsächlich zu Belastungen) und jeweils nur für die Hälfte der Bevölkerung (nicht alle sind dadurch belastet).
	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.
	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.
	Von Allergien betroffene	Anzahl Personentage	z. B. Dauer der Pollensaison x Anzahl Pollen-Allergiker
	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	Qualitative Beurteilung der Veränderung von Artenvielfalt und der Fläche wertvoller Biotope		

Tabelle 2
Indikatoren

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 stellt in diesem Zusammenhang der Bereich Umwelt dar, der sich auf Veränderungen der Biodiversität bezieht. Es war im Rahmen des Projektes nicht möglich, bewertbare, quantitative Indikatoren zu definieren. Daher wird der Auswirkungsbereich Biodiversität im Hinblick auf Risiken und Chancen für die Artenvielfalt und die Biotopvielfalt qualitativ analysiert.

2.7 Monetarisierung

Monetarisierung mithilfe von
„Grenzkosten“

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

Übertrag von Werten aus
anderen Studien
(Benefit Transfer)

Für diesen Zweck werden die in Tabelle 3 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 ist es zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zweckmässig, eine Monetarisierung vorzunehmen, da diese Schäden zu wenig mit den anderen vergleichbar sind und bisher keine verallgemeinerbaren empirischen Werte für Zahlungsbereitschaften oder Ähnliches verfügbar sind.

	Indikator	Einheit	Vorschlag für Monetarisierung [in Fr.]
Wirtschaft	Erträge	in Fr.	1:1
	Aufwendungen	in Fr.	1:1
	Vermögensschäden und Bewältigungskosten	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 Siedlungsflächenverlust Betroffene	Anzahl	100'000
	Arbeitsplatzverlust	Anzahl	100'000
	Arbeitsplatzgewinn	Anzahl	100'000
	Von Allergien betroffene	Anzahl Personentage	10
	Verletzte & Erkrankte	Anzahl	100'000
	Tote	Anzahl	5'000'000 ⁸⁾
Umwelt	Qualitative Beurteilung der Veränderung von Artenvielfalt und der Fläche wertvoller Biotope		

Tabelle 3:
Übersicht der Indikatoren und der verwendeten Monetarisierungs-Ansätze (vgl. Anhang 1)

Die Herleitung dieser Werte ist in Anhang A1 dargestellt.

2.8 Risiken und Chancen, Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards

Als Risiko wird das Produkt von Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmass eines Ereignisses oder einer Entwicklung bezeichnet, als Chance das Produkt von Eintretenswahrscheinlichkeit und positiver Folge

Risiko und Chance

8) Obwohl dies in vielen Studien üblich ist, z.B. im Bereich des Gesundheitswesens, wird kein Unterschied gemacht, ob Todesopfer gleichmässig aus allen Altersklassen stammen (z. B. Opfer von Naturgefahren), oder ob primär ältere oder bereits erkrankte Senioren einen verfrühten Tod erleiden (z. B. Hitzewelle). Dies bedeutet, dass die Zahl der verlorenen Lebensjahre bei der Monetarisierung nicht berücksichtigt wird. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse fallweise zu berücksichtigen.

eines Ereignisses oder einer Entwicklung. Risiken und Chancen werden hier für unterschiedliche Zeitpunkte bestimmt: für den heutigen Zustand (ca. 2010) sowie für das Jahr 2060 (zwei unterschiedliche Klimaszenarien). Dies sind die Risiken und Chancen der einzelnen Gefahren und Effekte. Von den Risiken und Chancen des Klimawandels wird gesprochen, wenn die Veränderung der Risiken zwischen 2010 und 2060 betrachtet wird.

Erwartungswerte Hier wird das Risiko meist auf die Summe aller möglichen Ereignisse einer Gefahr oder eines Effektes des Klimawandels über ein Jahr bezogen. Risiken und Chancen können in sogenannten Erwartungswerten dargestellt werden, um sie vergleichbar zu machen. Diese entsprechen dem Schaden bzw. dem Nutzen aller Ereignisse einer Gefahr bzw. eines Effektes, der im Mittel pro Jahr zu erwarten ist (z. B. die Summe aller in einem Jahr auftretenden Hochwasserschäden). So werden beispielsweise in kaum einem Jahr die Hochwasserschäden dem Erwartungswert entsprechen, da in vielen Regionen in den meisten Jahren kaum Hochwasserschäden auftreten, während sehr selten sehr grosse Hochwasserschäden auftreten (z. B. 2005 auf der Alpennordseite in der Schweiz). Der Erwartungswert ist der Mittelwert dieser vergleichsweise seltenen Jahre mit grossen Schäden und den vielen Jahren ohne oder mit sehr geringen Schäden.

Ereignisfolgen Für das Verständnis der Schäden von seltenen Ereignissen, z. B. grossen Hochwassern, sind diese Erwartungswerte nicht geeignet. Daher werden in Variante 1 neben den Erwartungswerten bei Gefahren, die von einzelnen Ereignissen geprägt sind, auch die Auswirkungen eines 100-jährlichen Ereignisses dargestellt (vgl. z. B. Rauten in Abbildung 5). Diese Auswirkungen entsprechen z. B. den grössten jährlichen Schäden, mit denen im Mittel einmal pro Jahrhundert in der betrachteten Region zu rechnen ist. In Variante 2 werden diese seltenen Ereignisse anhand einer Verteilung einbezogen (siehe auch Abschnitt 2.9.2).

Wildcards Neben diesen erwarteten Klimafolgen, die auch in den quantifizierten Risiken und Chancen enthalten sind, sind für die meisten Auswirkungsbereiche noch deutlich gravierendere klimabedingte Folgen möglich, die jedoch nicht unbedingt eintreten werden. Solche sog. Wildcards sind hier ebenfalls beschrieben, um einschätzen zu können, ob die abgeschätzten Risiken auch noch deutlich übertroffen werden können.

2.9 Betrachtete Auswirkungen

2.9.1 Vergleichbarkeit von 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, die eine sehr unterschiedliche Eintretenshäufigkeit haben können, lassen sich

besser untereinander und mit denen von zeitlichen Entwicklungen vergleichen.

Die Risiken und Chancen werden im Rahmen dieser Methode für unterschiedliche Zeitpunkte bestimmt (z. B. 2010 und 2060) und können direkt miteinander verglichen werden.⁹⁾

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

Mit der Methode sollen die klimabedingten Risiken und Chancen für das Jahr 2060 dargestellt werden. Dazu gehören insbesondere folgende Aspekte:

- Jährliche Variabilität der möglichen positiven oder negativen Auswirkungen (Verteilung) pro Gefahr oder Effekt. Diese wird entweder mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen dargestellt (Variante 2), oder vereinfacht mithilfe des Erwartungswertes der Auswirkungen eines 100-jährlichen Ereignisses (Variante 1);
- Aggregation der Auswirkungen aller relevanten Gefahren oder Effekte für einen Wirkungsbereich oder den betrachteten Perimeter (Erwartungswerte bei Variante 1, Verteilungen bei Variante 2). Die Aggregation der Verteilungen erfolgt über eine Monte-Carlo-Simulation, bei der die Korrelationen der Gefahren/Effekte zu berücksichtigen sind.

Jährliche Variabilität der Auswirkungen

Aggregation der Verteilungen für Wirkungsbereiche oder Regionen

2.9.2 Jährliche Variabilität der Auswirkungen

Bei einem Vergleich der Auswirkungen von klimarelevanten Gefahren und Effekten (vgl. 2.4) zu bestimmten Zeitpunkten (z. B. 2010 und 2060) 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

Dazu wird empfohlen, mindestens den Erwartungswert und die 100-jährlichen Auswirkungen abzuschätzen (Variante 1). Durch den Vergleich der Erwartungswerte unterschiedlicher Zeitpunkte oder Situationen kann die Entwicklung des Risikos beurteilt werden. Die Abschätzung der 100-jährlichen Auswirkungen kann dagegen einen Eindruck davon vermitteln, wie groß die maximalen Auswirkungen sein können.

Variante 1: Beschreibung des Erwartungswertes und des 100-jährlichen Ereignisses

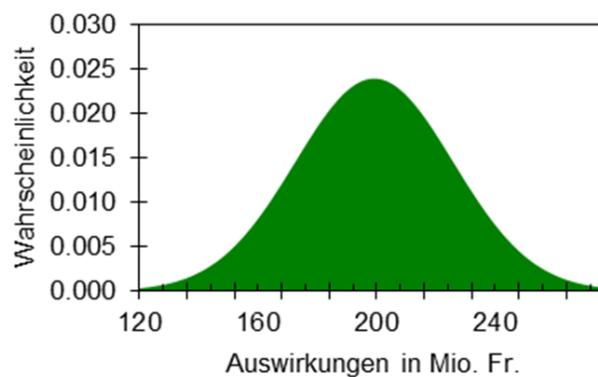
Wenn detailliertere Informationen zur Verteilung der jährlichen Auswirkungen erforderlich sind, kann die jährliche Variabilität, wie in der folgenden Variante 2 beschrieben, detaillierter erfasst werden.

9) Falls die Ergebnisse eines längeren Zeitraumes ermittelt werden sollten (z. B. Risiken und Chancen in den 50 Jahren von 2010 bis 2060), könnten die Werte der entsprechenden Jahre aggregiert werden. Dabei ist jedoch die soziale Diskontierung zu klären (siehe z. B. Pearce et al. 2003).

Variante 2:
Wahrscheinlichkeits-
dichtefunktionen

Die Risiken der einzelnen Gefahren können dazu mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) charakterisiert werden. Diese beschreiben die Wahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Ausmasse der jährlichen Auswirkungen pro Gefahr oder Entwicklung. In Abbildung 4 ist ein hypothetisches Beispiel einer solchen WDF angegeben, in dem die WDF die jährlichen Tourismuserträge in Abhängigkeit vom Wetter in diesem Jahr zeigt. Für jede Höhe von Erträgen kann die jeweilige Wahrscheinlichkeit abgelesen werden. In einem mittleren Jahr liegen die Erträge 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. in einem äusserst guten Jahr.

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



Modellierung mit
Monte-Carlo-Simulationen

Die Formulierung der WDF kann je nach Datenverfügbarkeit auf statistischen Daten oder auf Expertenschätzungen und 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.

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 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 Beta-, Lognormal- oder allenfalls Normalverteilung an, da die klimabedingten Auswirkungen mit zunehmender räumlicher Distanz immer unabhängiger voneinander werden.¹⁰⁾

10) 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.

Bei Entwicklungsrisiken verändert sich der mittlere Zustand und damit der häufigste Wert für das Ausmass positiver oder negativer Veränderungen. Als Verteilungstyp ist hier meist eine Normalverteilung geeignet.

Entwicklungsrisiken

2.9.3 Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen

Die Aggregation der möglichen jährlichen Auswirkungen pro Gefahr oder Effekt zu einem Gesamtrisiko pro Wirkungsbereich oder betrachtetem Perimeter erfolgt je nach gewählter Variante bei der Berücksichtigung der jährlichen Auswirkungen (s.o. in diesem Kapitel). Bei Variante 1 mit Fokus auf die Erwartungswerte können die Erwartungswerte der Auswirkungen pro Wirkungsbereich und Gefahr/Effekt z. B. über alle Gefahren/Effekte zusammengezählt werden, um die jährlichen Gesamtauswirkungen pro Jahr für einen Wirkungsbereich darzustellen. Die 100-jährlichen Auswirkungen werden in diesem Fall nur pro Gefahr/Effekt dargestellt.

Aggregation der Auswirkungen von Gefahren/Effekten

Bei Variante 2 erfolgt die Aggregation auf Basis einer 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.

Korrelationen zwischen verschiedenen Gefahren (z. B. positive Korrelation von Hitzewelle und Waldbrand) werden in der Aggregation der zugehörigen WDF in der Monte-Carlo-Modellierung berücksichtigt. Dazu werden die Gefahren/Effekte identifiziert, für die eine Korrelation klar zu erwarten ist, und die Korrelationsfaktoren werden möglichst unter Einbezug von Experten gewählt. Es werden folgende Korrelationskoeffizienten verwendet: 0.5, 0.3, 0.1, -0.1, -0.3 und -0.5.

Korrelationen

WDF für verschiedene Regionen können 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

2.9.4 Analyse qualitativer und quantitativer Informationen

Möglichst quantitative Analyse der wichtigsten Auswirkungen

Die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels werden zunächst für jeden Auswirkungsbereich auf Basis einer Literaturanalyse zusammengestellt. Alle Klimafolgen, durch die ein massgeblicher Einfluss auf die Entwicklung der Risiken und Chancen erwartet wird, werden soweit möglich quantitativ analysiert. In einer Tabelle pro Auswirkungsbereich werden diese und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen zusammengestellt. In die Beurteilung der Ergebnisse für jeden Auswirkungsbereich fliessen auch die nicht quantitativ betrachteten Auswirkungen ein.

Auch nicht quantifizierte Auswirkungen werden in Beurteilung einbezogen

2.9.5 Sensitivitätsanalysen

Test auf Robustheit der Ergebnisse

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

Zwei Fragestellungen

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“?

Anwendung je nach Detaillierungsgrad

Je nach angestrebtem Detaillierungsgrad der Ergebnisse sind mehr oder weniger Sensitivitätsanalysen vorzunehmen. In der Fallstudie Kanton Aargau beschränken sich die Sensitivitätsanalysen beispielsweise darauf, den Einfluss einer möglichen Veränderung der Sturm- und Hagelaktivität auf das Gesamtbild der Auswirkungen pro Auswirkungsbereich und im Vergleich der Auswirkungsbereiche zu prüfen. In den Klimaszenarien sind Sturm und Hagel bezüglich Häufigkeit und Intensität als gleichbleibend angenommen.

2.9.6 Keine Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen

Die Studie soll die klimabedingten Risiken und Chancen im Jahr 2060 ohne Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel zeigen. Auf dieser Grundlage soll zu einem späteren Zeitpunkt der Anpassungsbedarf bestimmt werden.

Analyse ohne neue Anpassungsmassnahmen

Eine gewisse Anpassung wird aber auch ohne neue Anpassungsmassnahmen stattfinden, z. B. durch intensiveres Nutzen bestehender Bewässerungsanlagen in der Landwirtschaft. Diese Art der Anpassung wurde in dieser Analyse berücksichtigt. Dazu gehört z. B. auch der Baumartenwechsel in der Waldwirtschaft im Rahmen der normalen Bewirtschaftung. Diese Massnahmen haben häufig schon einen grossen Effekt.

2.9.7 Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards

Risiken und Chancen können in sogenannten Erwartungswerten dargestellt werden, um sie vergleichbar zu machen. Diese entsprechen dem Schaden bzw. dem Nutzen, der im Mittel pro Jahr zu erwarten ist.

Erwartungswerte

Für das Verständnis der Schäden von seltenen Ereignissen, z. B. grossen Hochwassern, sind diese Erwartungswerte nicht ausreichend. Daher werden im Folgenden neben den Erwartungswerten bei Gefahren, die von einzelnen Ereignissen geprägt sind, auch die Auswirkungen eines 100-jährlichen Ereignisses dargestellt (Variante 1, vgl. z. B. Rauten in Abbildung 5). Unter Variante 2 wird die gesamte Verteilung ermittelt, inkl. Auswirkungen von seltenen Ereignissen.

Ereignisfolgen

Neben diesen erwarteten Klimafolgen, die auch in den quantifizierten Risiken und Chancen enthalten sind, sind für die meisten Auswirkungsbereiche noch deutlich gravierendere klimabedingte Folgen möglich, deren Eintreten jedoch deutlich unwahrscheinlicher ist. Solche sog. Wildcards sind hier ebenfalls beschrieben, um sich damit auseinanderzusetzen, ob die abgeschätzten Auswirkungen auch deutlich übertroffen werden können.

Wildcards

2.10 Umgang mit Unschärfen

Bei der Analyse der Auswirkungen pro AWB wird für die Wirkung jeder Gefahr oder jedes Effektes auf jeden AWB die Unschärfe in der Analyse beurteilt.

Unter Unschärfe wird die Ungenauigkeit oder Ungewissheit bei der modellhaften Abbildung des untersuchten Sachverhalts verstanden. Je nach Komplexität der Sachverhalte konnten diese im Rahmen der vorliegenden Analyse unterschiedlich genau abgebildet werden. Ein weiteres Element, das hier unter den Unschärfen subsumiert wird, ist die Ungewissheit über die Folgen der Klimaszenarien und des sozioökonomischen und demographischen Szenarios auf die AWB.

Unschärfe

Die Unschärfe bzw. Ungewissheit wird für jeden dieser Aspekte pro Indikator in drei Stufen beurteilt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4
Unschärfefaktoren und
Beispiele in der Analyse

Unschärfe der Aus- sage		Unschärfe- faktor f	Beispiele		
			Modellunschärfe bei Abschätzung der heutigen Risiken (bzw. Chancen)	Ungewissheit bzgl. der Auswirkungen der Kli- maszenarien auf zu- künftige Risiken bzw. Chancen	Ungewissheit bzgl. der Auswirkungen des sozioök. u. dem. Szena- rio auf zukünftige Risi- ken und Chancen
1	gering	$0.8 \leq f \leq 1.3$	Heutige Risiken kön- nen aus Schadenstati- stiken abgeleitet werden	Risiken, die primär von mittleren Temperaturen oder Niederschlags- mengen abhängen (sind im Szenario definiert)	Bevölkerungsentwick- lung, Landwirtschaftli- che Nutzfläche oder Waldfläche.
2	mittel	$0.5 \leq f \leq 2$	Risiken sind durch Extremereignisse geprägt, deren Häu- figkeit schwer ab- schätzbar ist	Folgen von Trockenheit und Hitzewellen auf die Landwirtschaft oder Energiewirtschaft (Energieproduktion)	Abnahme land- oder forstwirtschaftlicher Betriebe, Zunahme der Zahl von Gebäuden sowie des mittleren Gebäudewerts
3	gross	f kann ausser- halb des Inter- valls 0.5 – 2 liegen.	Risiken sind stark durch Extremereignis- se geprägt, deren Häufigkeit nur abge- schätzt werden kann.	Veränderung der Häu- figkeit von Hochwasse- rereignissen infolge der in den Klimaszenarien angenommenen Verän- derungen mittlerer Niederschläge. Auswir- kungen der Klimapara- meter auf Tourismus	Produzentenpreise Landwirtschaft, Holz- preise, Energiepreise etc.

Das Vorgehen bei der Berücksichtigung der Unschärfen ist in 3.2.3 be-
schrieben.

2.11 Umgang mit qualitativen Informationen

Die nicht quantifizierten Auswirkungen (vgl. 2.9.4) werden durch das Projektteam und ggf. in Absprache mit Experten summarisch einer sogenannten Bedeutungsklasse zugewiesen. Diese Bedeutungsklassen geben an, wie die Gesamtheit der nicht quantifizierten Auswirkungen im Vergleich zur Gesamtheit der quantifizierten Auswirkungen zu beurteilen ist. Dies dient der Ableitung einer Gesamtbeurteilung der klimabedingten Risiken und Chancen für einen Wirkungsbereich.

Zuordnung zu
Bedeutungsklassen

Die Bedeutungsklassen sind in folgender Tabelle angegeben.

Bedeutung im Vgl. zu quantifizierbaren Auswirkungen	
Qualitative Einordnung	Faktor zur Umrechnung
grösser	3
vergleichbar	1
geringer	1/3
deutlich geringer	1/10

Aus den analysierten quantitativen Ergebnissen und der Bedeutungsklasse der nicht quantifizierten Auswirkungen wird schliesslich für Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt pro AWB eine qualitative Gesamtbeurteilung vorgenommen. Diese werden schliesslich zu einer Gesamtbeurteilung der Risiken und Chancen des Klimawandels für den Wirkungsbereich zusammengeführt. Die Gesamtbeurteilung pro Auswirkungs- und Indikatorenbereich erfolgt in den folgenden qualitativen Klassen:

Gesamtbeurteilung pro
Indikatorenbereich und pro AWB

- Sehr positiv
- Positiv
- Leicht positiv
- Gering / ambivalent
- Leicht negativ
- Negativ
- Sehr negativ

Diese Gesamtbeurteilung kann aus folgenden Gründen nicht vollständig nachvollziehbar anhand von Kriterien abgeleitet werden:

- Zu verschiedenen Gefahren und Effekten werden in Wirkungsbereichen keine quantitativen Abschätzungen vorgenommen, es werden aber Auswirkungen qualitativ beschrieben.
- Der Wirkungsbereich Biodiversität entzieht sich bisher der quantitativen Analyse und andere Wirkungsbereiche werden aufgrund ge-

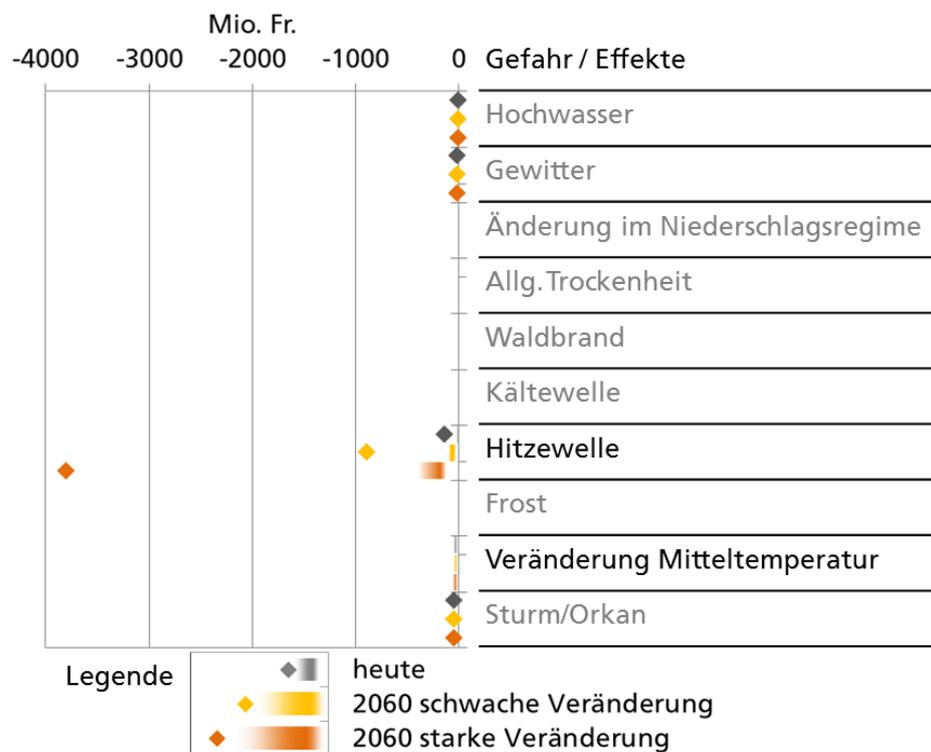
ringerer Betroffenheit in einer Fallstudie ausschliesslich qualitativ beurteilt. Dennoch sollten diese in ein Verhältnis zu den Auswirkungen in den anderen AWB gesetzt werden.

2.12 Auswertungen und Ergebnisdarstellung

Erwartungswerte und Extremwerte, Streubereich der Unschärfen

Pro AWB werden die Erwartungs- und Extremwerte der Risiken und Chancen für jede Gefahr und jeden Effekt dargestellt. Um den Erwartungswert wird auch der mögliche Streubereich des Erwartungswertes aufgrund der bestehenden Unschärfen (vgl. 3.2.3) dargestellt (vgl. exemplarische Darstellung in Abbildung 5).

Abbildung 5
Exemplarische Darstellung der erwarteten mittleren Kosten der klimabedingten Auswirkungen auf die Gesundheit (Balken; Farbintensität widerspiegelt die Unsicherheit) und Ausmass eines 100-jährlichen Ereignisses (Rauten)



Lesehilfe

Extremereignisse wie eine 100-jährliche Hitzewelle belasten die Gesundheit der Aargauer Bevölkerung am stärksten. Im Szenario „starke Veränderung“ würde eine solche, alle 100 Jahre auftretende Hitzewellen monetarisierte Auswirkungen in Höhe von 3.8 Mrd. Fr zur Folge haben (Raute). Die Betrachtung von Extremereignissen ist ausschlaggebend bei Gefahren, die selten auftreten. Bei stetigen Veränderungen (z. B. der Mitteltemperatur) sind Erwartungswerte aussagekräftiger. Durch höhere Mitteltemperaturen verlängert sich beispielsweise die Pollensaison, welche Allergiker stärker belasten wird. Im Vergleich zu extremen Hitzewellen, sind die monetarisierten Auswirkungen allerdings sehr gering.

Bei den Schätzungen der heutigen Kosten können sozioökonomische Faktoren nicht von den klimabedingten Einflüssen getrennt werden. Bei der Projektion ins Jahr 2060 wird ausschliesslich der Einfluss des Klimawandels berücksichtigt.

Für den Vergleich der aggregierten Auswirkungen des Klimawandels für einen Wirkungsbereich mit den heutigen Auswirkungen werden die Erwartungswerte verglichen. Dabei sollen auch die Unschärfen dargestellt werden, z. B. wie in Abbildung 6.

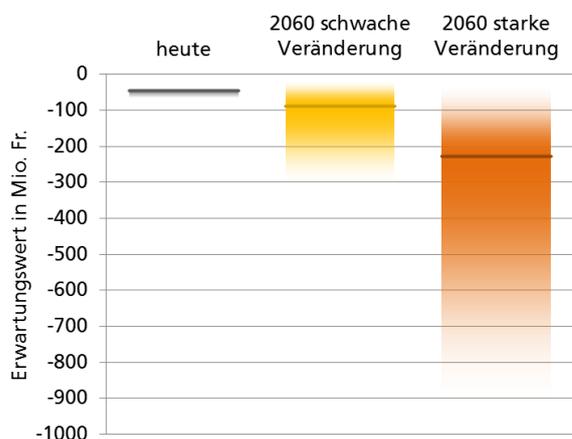


Abbildung 6
Erwartungswert mit
Unsicherheitsbalken der durch
den Klimawandel generierten
Kosten an der Bevölkerung des
Kantons Aargau

Die über alle Gefahren und Effekte aggregierten mittleren Auswirkungen (Erwartungswert) belaufen sich heute auf ca. 45 Mio. Fr. jährlich. Dieser Wert entspricht der „besten Schätzung“. Die Unschärfen der Abschätzung dieser mittleren Kosten für heute sind absolut gesehen relativ gering.

Lesehilfe

Die dargestellten Veränderungen fürs Jahr 2060 beziehen sich ausschliesslich auf die Auswirkungen des Klimawandels. Sozioökonomische Veränderungen sind hier nicht berücksichtigt. Es wird erwartet, dass die aggregierten mittleren Auswirkungen steigen. Mit den Auswirkungen steigen auch die Unschärfen. Dies hängt zum einen mit den zusätzlichen Unschärfen in Bezug auf die Auswirkungen der verwendeten Klimaszenarien auf die einzelnen Kosten im Wirkungsbereich Gesundheit zusammen. Zum anderen resultieren absolut betrachtet aus höheren Auswirkungen auch grössere Unschärfen. Im Szenario „schwache Veränderung“ werden beispielsweise die mittleren monetarisierten Auswirkungen auf ca. 90 Mio. Fr geschätzt, sie können aber zwischen 15 Mio. Fr. und etwa 300 Mio. Fr. liegen. Mittlere Auswirkungen an einem der Ränder dieser Spannweite sind jedoch sehr unwahrscheinlich.

Wenn für die Gefahren und Effekte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) formuliert werden (vgl. Variante 2 in 2.9.2), ist eine differenziertere Darstellung der erwarteten jährlichen Auswirkungen möglich. Dabei sollte Folgendes beachtet werden:

Differenziertere Darstellung der
jährlichen Auswirkungen in WDF

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.

Angemessenheit der Darstellung

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

Vergleich von Kennwerten

einer Auswirkung, die alle 10 Jahre über- oder unterschritten wird) und des Variationskoeffizienten¹¹⁾.

2.13 Dokumentation und Aktualisierung

Das Vorgehen in einer Fallstudie soll möglichst transparent dokumentiert werden. Dabei sollen die zugrundeliegenden Daten und getroffenen Annahmen möglichst klar ersichtlich sein. Dies ermöglicht eine spätere Anpassung der Ergebnisse für den Fall, dass bessere Datengrundlagen vorhanden sind, z. B. neue Forschungserkenntnisse. Auch hat der Leser so im Idealfall die Möglichkeit, die Auswirkungen einer Änderung der Parameter selbst abzuschätzen.

11) 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 Vorgehensschritte in kantonalen Fallstudien

Im Folgenden sind die einzelnen Arbeitsschritte einer Fallstudie für einen Grossraum im Rahmen der Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz dargestellt. Die Module und Arbeitsschritte sind dabei nicht sequentiell zu verstehen, sondern sie müssen teilweise parallel bearbeitet werden.

3.1 Modul 1: Vorarbeiten

3.1.1 Schritt 1-1: Information und Einbezug der Fallstudienregion

In einer Fallstudie zur Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen ist es wichtig, die zuständigen Fachstellen über das geplante Vorhaben frühzeitig zu informieren und zu konsultieren. Dabei sollten auch Entscheidungsträger, z. B. die Leiterinnen und Leiter von Ämtern oder Departementen, über das Projekt und dessen Einbettung informiert werden.

Einbezug von Fachstellen und Entscheidungsträgern

Die aus Sicht der Analyse zentralen Fachstellen werden identifiziert und durch das BAFU frühzeitig über das geplante Vorhaben informiert und um fachliche Unterstützung und Bereitstellung von Daten gebeten. Zudem soll eine Informationsveranstaltung durchgeführt werden, in der über die Entwicklung der nationalen Anpassungsstrategie und das Projekt informiert wird.

Identifizieren von Fachstellen, Grundlagendaten und Experten

Dabei können auch weitere wichtige Datenquellen identifiziert und Grundlagendaten zusammengestellt werden und es werden für die AWB und Gefahren relevante Experten bestimmt (nach Identifikation der relevanten Kombinationen aus AWB und Gefahr/Effekt, vgl. 3.2.1).

Bei den Analysen pro AWB werden jeweils – soweit möglich – Experten aus dem Kanton oder mit hervorragender Kenntnis der Verhältnisse im Kanton beigezogen. Ausserdem soll mindestens eine Veranstaltung in der Endphase des Projektes durchgeführt werden, in der über die Ergebnisse informiert wird und seitens des Kantons die Möglichkeit besteht, die Form der Kommunikation mitzubestimmen.

Einbezug von Experten bei Analyse und zur Kommunikation der Ergebnisse

3.1.2 Schritt 1-2: Beschreibung der Fallstudienregion

Die Fallstudienregion wird hinsichtlich der wesentlichen Eigenschaften in Bezug auf die AWB beschrieben.

3.1.3 Schritt 1-3: Klima- und sozioökonomische und demographische Szenarien für die Fallstudienregion

Klimaszenarien Die Klimaszenarien für die Fallstudienregion werden in Anlehnung an die dem BAFU vorliegenden Klimaszenarien für die Schweiz definiert, die im Rahmen der Fallstudie AG erarbeitet wurden (EBP/SLF/WSL 2013). Als Datengrundlage stehen dafür v.a. die „CH2011 Local scenarios at daily resolution based on individual model chains“ des Center for Climate Systems Modeling (C2SM) zur Verfügung. Darin sind lokale Datensätze verfügbar.

Sozioökonomisches Szenario Im Rahmen der Fallstudie AG wurde ein sozioökonomisches und demographisches Szenario für die Schweiz definiert, das dem BAFU vorliegt und das v.a. aus Teilszenarien zu den einzelnen AWB besteht. Aus diesem wird ein sozioökonomisches und demographisches Szenario für den zu analysierenden Kanton abgeleitet. Dabei ist zu beachten, dass das Szenario zum gesamtschweizerischen Szenario kompatibel ist.

3.2 Modul 2: Analyse der Risiken und Chancen in der Fallstudie

3.2.1 Schritt 2-1: Relevanzbeurteilung und Identifikation näher zu analysierender Kombinationen

Ausschluss nicht prioritärer Gefahren/Effekte pro AWB

In einem ersten Schritt werden diejenigen Kombinationen von AWB und Gefahren/Effekten ausgeschlossen, die in der Fallstudienregion im Vergleich zu den anderen Kombinationen von untergeordneter Bedeutung sind. Zudem wird den als relevant identifizierten Kombinationen nach ihrer erwarteten Bedeutung in der Fallstudie eine unterschiedliche Bearbeitungstiefe zugeordnet.

Die Beurteilung erfolgt anhand folgender Kriterien:

1. Sind die Voraussetzungen für die Gefahr gegeben?
2. Sind nennenswerte Auswirkungen durch eine Gefahr/einen Effekt auf einen AWB möglich?
3. Sind die möglichen Auswirkungen so gross, dass sie im Vergleich mit anderen Auswirkungen ins Gewicht fallen?

Die erste Relevanzbeurteilung erfolgt aufgrund der eigenen Kenntnis und Einschätzung der Gegebenheiten in der Fallstudienregion. Dieser Vorschlag wird im Rahmen der Informationsveranstaltung (s. Schritt 1-1) mit den Kantonsvertretern abgestimmt.

Ergebnis ist eine Matrix vergleichbar zur folgenden Tabelle für die Fallstudie AG.

Bereich der Veränderung:	Intensivniederschläge				Mittlere Niederschläge			Extremtemperatur		Mittlere Temperatur				Wind	
Gefahr/Effekt:	Schneelawinen	Hochwasser	Mure / Erdrutsch / Hangmure	Gewitter	Änderung im Niederschlagsregime	allg. Trockenheit	Waldbrand	Kältewelle	Hitzewelle	Frost	Reduktion Schneedecke / Abschmelzen Gletscher	Auftauen Permafrost	Steinschlag, Fels- / Bergsturz	Veränderung Mitteltemperatur	Sturm / Orkan
Auswirkungsbereich:															
Gesundheit		■		■					■						■
Landwirtschaft		■		■		■			■						■
Wald/Waldwirtschaft						■			■						■
Energie															
Tourismus		■		■		■		■						■	■
Infrastrukturen und Gebäude		■		■				■						■	■
Wasserwirtschaft		■				■									
Biodiversität					■				■					■	
Freiräume und Grünflächen															

■ Hohe Relevanz, detailliert zu analysieren
■ Relevant, in geringerem Detaillierungsgrad zu analysieren
■ Relevant, qualitative Beurteilung
■ Klimabedingte Auswirkungen sind in der Fallstudie nicht prioritär, nicht analysiert
■ Klimabedingte Auswirkungen sind in der Fallstudie nicht prioritär, qualitative Beurteilung.

Tabelle 5
Matrix zur Identifikation der zu analysierenden Felder und zur Festlegung der Bearbeitungstiefe

3.2.2 Schritt 2-2: Analyse der Risiken und Chancen

Die Risiken und Chancen pro AWB werden gemäss der Schwerpunktsetzung aus Schritt 2-1 in unterschiedlichen Bearbeitungstiefen analysiert. Dabei wird soweit möglich auf bestehende Grundlagen und Expertenwissen zurückgegriffen.

Einbezug von Expertenwissen

Für die Analyse ist Expertenwissen aus verschiedenen Bereichen zu berücksichtigen. Dies umfasst v.a. Informationen zu:

Arten von Expertenwissen

- a. Klimaszenarien für den Untersuchungsperimeter
- b. Sozioökonomische und demographische Szenarien für den Untersuchungsperimeter
- c. Heutigen und erwarteten Auswirkungen der vom Klima beeinflussten Gefahren und Effekten im Untersuchungsperimeter (qualitativ und soweit möglich quantitativ)
- d. Auswirkungen einer Veränderung der sozioökonomischen und demographischen Rahmenbedingungen auf die mittleren jährlichen Auswirkungen und die jährliche Variabilität der Auswirkungen
- e. Auswirkungen der Klimaszenarien auf die mittleren jährlichen Auswirkungen und die jährliche Variabilität der Auswirkungen einzelner Gefahren oder Effekte im Untersuchungsperimeter.

Für die Informationen zu den Klimaszenarien für den Untersuchungsperimeter sollten Meteorologen und/oder Klimatologen beigezogen werden, die an der Entwicklung aktueller Klimaszenarien für die Schweiz beteiligt waren (derzeit CH2011).

Meteorologen/Klimatologen

Auswirkungsbereichs-Experten Zur Sammlung von Informationen und zur Abstimmung von Arbeiten zu den Auswirkungen in den Auswirkungsbereichen sollten „Auswirkungsbereichs-Experten“ der jeweiligen Fachbereiche mit Kenntnis des Untersuchungsgebietes und der Auswirkungen der untersuchten Gefahren und Effekte auf den Auswirkungsbereich involviert werden.

Gefahrenexperten Fachleute zu den Gefahrenprozessen bzw. den Klimawandel-Effekten („Gefahrenexperten“) sollten in die Abschätzung der durch die angenommenen Klimaszenarien hervorgerufenen Veränderungen der Gefahren und Effekte beigezogen werden. Dies betrifft z. B. die Abhängigkeit der Häufigkeiten von Ereignissen unterschiedlicher Intensität vom Klimaszenario.

Im Folgenden ist der Einbezug dieser Experten beschrieben.

Vorgehen bei der Analyse der Risiken und Chancen pro AWB

Identifikation von Experten und Grundlagen

1. Es werden für jeden AWB Experten aus kantonalen Fachstellen des Kantons und ggf. weiterer Kantone des Grossraumes, und/oder aus Forschung und der Bundesverwaltung für die Fallstudienregion identifiziert. Der Experteneinbezug kann variiert werden, je nachdem wie stark auf die bestehenden Grundlagen aus dem Pilotprojekt und anderen Fallstudien zurückgegriffen werden kann.

Vorarbeiten

2. Es werden folgende Vorarbeiten vorgenommen, die als Grundlage für den Einbezug von Experten dienen:

- Vorschlag einer Übersicht der quantitativ und nicht quantitativ zu analysierenden Auswirkungen. Wie in der Dokumentation der Analyse pro AWB in der Fallstudie AG (vgl. EBP/SLF/WSL 2013) werden die Auswirkungen des Klimawandels möglichst vollständig erfasst. Sie werden unterteilt in solche, die im Vergleich mit den anderen Auswirkungen von Relevanz sind, und solche, die im Vergleich eher unbedeutend sind. Für die relevanten wird beurteilt, ob diese sinnvoll hinsichtlich der Indikatoren (vgl. 2.6) quantifiziert werden können oder nicht.
- Vorschlag zum Vorgehen bei der quantitativen Abschätzung der als relevant und quantifizierbar beurteilten Auswirkungen der relevanten Gefahren im jeweiligen AWB. Der Vorschlag stützt sich soweit möglich auf das Vorgehen in bereits vorliegenden Fallstudien, um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen.
- Zusammenstellen möglicher Datengrundlagen für die Abschätzung und Klärung der Datenbereitstellung.
- Erste quantitative Abschätzung der quantitativen Auswirkungen beruhend auf Vorgehensvorschlag und den bisher identifizierten Daten.

Soweit möglich werden Felder in der Relevanzmatrix (vgl. Schritt 2-1) gemeinsam analysiert.

Abstimmung von Vorarbeiten und Vorgehen der Analysen mit Experten

3. Die Vorarbeiten werden mit den AWB-Experten (s.u.) abgestimmt. Dazu kann z. B. ein Expertengespräch stattfinden oder die Experten werden um telefonisches oder schriftliches Feedback gebeten. Die Vorar-

beiten werden zur Stellungnahme im Voraus versendet. Von den Experten wird Feedback eingeholt und es werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten aufgenommen.

4. Anschliessend werden die Feedbacks der Experten in den Vorgehensvorschlag eingearbeitet und die Risiken und Chancen werden dementsprechend analysiert. Dabei werden entweder die Erwartungswerte der jährlichen Auswirkungen ermittelt (Variante 1) oder es werden Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen formuliert (vgl. 2.9.2; Variante 2). Schliesslich wird ein definitiver Vorschlag der Analyse und der Ergebnisse pro AWB zum Korreferat an die Experten verschickt. Dieser beinhaltet auch eine Einschätzung der Bedeutung der nicht quantitativ analysierten Auswirkungen im Vergleich zu den quantifizierten Auswirkungen (vgl. 2.11).
5. Die Feedbacks der Experten zu den Vorschlägen werden eingearbeitet und es werden die definitiven Dokumentationen der Auswirkungen auf die AWB erstellt.

Analyse pro AWB
und Korreferat

Finalisierung der Dokumentation
pro AWB

Berücksichtigung der Repräsentativität der Fallstudienregion

Wenn die Repräsentativität der Fallstudienregion für den Grossraum nicht weitgehend vorausgesetzt werden kann, sollte im Rahmen der Analyse untersucht werden, wie gut die Repräsentativität bezüglich aller relevanten Analysebereiche gegeben ist. Dies betrifft v. a. die heutigen klimabedingten Risiken und Chancen durch die einzelnen Gefahren und Effekte, die erwarteten Änderungen im Zusammenhang mit dem sozioökonomischen und demographischen Szenario und den Klimaszenarien. Für die Beurteilung der Repräsentativität können Grundlagen und Expertenwissen aus den anderen Kantonen des Grossraumes einbezogen werden. Dort wo eine Repräsentativität nicht gut gegeben ist, werden so auch Hinweise auf notwendige Korrekturen bei der Hochskalierung gesammelt.

Einbezug von Gefahrenexperten

Um die Grundlagen für die Formulierung der jährlichen Variabilität der Auswirkungen pro Gefahr/Effekt zu erheben (vgl. 2.9.2), wird wie folgt vorgegangen:

1. Es werden Experten für die relevanten gravitativen und für hydrologisch/meteorologische Gefahren für den Kanton und die Verhältnisse im gesamten Grossraum identifiziert.
2. Die im Rahmen der Analyse pro AWB (s. voriger Abschnitt) erhaltenen Informationen zu den Auswirkungen durch die einzelnen Gefahren und Effekte werden zusammengestellt. Es werden die Bereiche mit fehlenden Daten und grossen Unschärfen identifiziert.
3. In einem Expertengespräch werden die Häufigkeiten von Schadensereignissen unterschiedlicher Schwere und falls notwendig und möglich auch zu deren Ausmass und die Veränderungen dieser Häufigkeiten durch die Klimaszenarien 2060–stark und 2060–schwach eingeschätzt bzw. Datenquellen diskutiert auf deren Basis eine solche Einschätzung möglich ist.

Identifikation der Experten

Analyse des
Informationsbedarfes

Expertengespräch/e

Die Ergebnisse des Einbezugs der Gefahrenexperten fließen in die Berechnung der Risiken und Chancen ein.

3.2.3 Schritt 2-4: Modellierung der Risiken/Chancen und der Unschärfen

Risiken/Chancen:
Aggregation der Mittelwerte
(Variante 1) oder Monte-Carlo-
Simulation (Variante 2)

Pro Auswirkungsbereich werden in Schritt 2-2 in Variante 1 der Erwartungswert und in Variante 2 werden Verteilungsfunktionen für die Risiken und Chancen festgelegt (vgl. 3.2.2). Die Risiken und Chancen können dann pro AWB aggregiert werden, um darzustellen, mit welchen jährlichen Gesamtauswirkungen pro AWB zu rechnen ist. Dazu werden je nach Detaillierung der jährlichen Variabilität der Auswirkungen (vgl. Varianten 1 und 2 in 2.9.2) entweder die Erwartungswerte aggregiert, oder es werden die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen der Gefahren und Effekte pro AWB mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation aggregiert. Dabei werden auch Korrelationen berücksichtigt (vgl. 2.9.3), wenn diese relevant sind.

Aggregation der Unschärfen

Die Unschärfen jeder Wirkung einer Gefahr oder eines Effektes auf einen AWB werden wie folgt im Sinne einer Annäherung bestimmt (Varianten 1 und 2):

1. Beurteilung der Unschärfe pro verwendetem Indikator
2. Definition einer geeigneten Verteilungsfunktion mit endlichem Intervall für jeden Indikator, z. B. Dreiecksverteilung.
3. Aggregation der Verteilungen über eine Monte-Carlo-Simulation zu einer Verteilung pro Wirkung einer Gefahr oder eines Effektes auf einen AWB.
4. Aggregation dieser Verteilungen pro Gefahr oder Effekt zu einer Gesamtverteilung pro Auswirkungsbereich.
5. Bestimmen des Erwartungswertes sowie des 5%- und 95%-Perzentils zur Definition der Gesamtverteilung pro AWB (v. a. in Abbildungen der Unschärfen).

Berücksichtigung mehrerer
Unschärfen/Ungewissheiten

Bei der Abschätzung der Unschärfen der heutigen Erwartungswerte wird die Modellunschärfe berücksichtigt, d. h. die Unschärfe, die der Abschätzung der heutigen Risiken und Chancen innewohnt. Bei den Erwartungswerten für künftige Zustände sollen zusätzlich die Unschärfen berücksichtigt werden, die mit der Abschätzung der Folgen der Klimaszenarien und/oder des sozioökonomischen und demographischen Szenarios verbunden sind. Dazu wird die Modellunschärfe auf den Mittelwert für die Ergebnisse pro Indikator etc. bezogen. Die Ungewissheit der Auswirkungen des Szenarios wird hingegen auf die durch das Szenario hervorgerufene Differenz des Erwartungswertes zwischen heute und dem künftigen Zustand bezogen. Dazu werden die genannten Schritte für die Modellunschärfe und die Ungewissheit über die Folgen der Szenarien gemäss den genannten Schritten ermittelt und deren Verteilungen schliesslich nochmals über eine Monte-Carlo-Simulation aggregiert.

3.2.4 Schritt 2-5: Hochskalierung der Fallstudienresultate auf den gesamten Grossraum

Die Ergebnisse für die Fallstudienregion werden in folgenden Schritten auf den gesamten Grossraum hochskaliert:

1. Zunächst wird für jeden Wirkungsbereich geprüft, welche der Parameter (meist Mengengerüste wie Bevölkerung, Landwirtschaftsfläche, Versicherungswerte von Gebäuden etc.) in der Analyse der Risiken und Chancen deren Höhe massgeblich beeinflussen und in den anderen Kantonen des Grossraumes anders ausgeprägt sein dürften. Identifikation der relevanten Parameter
2. Für die relevanten Parameter werden Daten erhoben. Dabei soll das Gebiet des Grossraumes möglichst gut abgedeckt werden. Je nach Datenverfügbarkeit kann es aber auch notwendig sein, sich auf Teile des Grossraumes zu beschränken. In diesem Fall wird z. B. über die Fläche oder die Bevölkerung auf die gesamte Grossraumfläche hochgerechnet. Wenn möglich, wird auf bestehende Daten zurückgegriffen (z. B. GIS-Daten oder statistische Daten aus den anderen Kantonen des Grossraumes). Andere Parameter müssen für ggf. auf Basis von Expertenschätzungen festgelegt werden oder es müssen Annahmen getroffen werden, wo keine Daten oder Expertenschätzungen möglich sind. Datenerhebung für diese Parameter
3. Die Risiken und Chancen jedes einzelnen Wirkungsbereiches werden anhand der Parameter anschliessend für den gesamten Grossraum bestimmt, indem die entsprechenden Parameter in die Analyse für die Fallstudienregion eingesetzt werden.
4. Die Ergebnisse werden so aufbereitet, dass sie später in der gesamtschweizerischen Analyse verwendet werden können.

3.3 Modul 3: Synthese und Dokumentation

Die Ergebnisse werden in einem Schlussbericht aufbereitet. Der Anhang zum Schlussbericht mit den detaillierten und transparenten Ansätzen ist ein wichtiger Bestandteil dazu. Der Detaillierungsgrad richtet sich dabei nach den Ansprüchen von BAFU und Kanton.

Dokumentation

4 Möglichkeiten und Grenzen einer einheitlich anwendbaren Methode

Der in den Kapiteln 2 und 3 beschriebene methodische Ansatz ist für das Projekt des Bundesamts für Umwelt „Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz“ entwickelt. Das Vorgehen kann so in den weiteren Fallstudien angewendet werden, sowohl in ländlichen Regionen als auch in Städten und unabhängig von topographischen Gegebenheiten etc.

Einheitlich anwendbarer methodischer Ansatz

Prinzipiell ist die vorliegende Methode auch für andere Verwendungszwecke anwendbar. Die spezifische Ausgestaltung des methodischen Vorgehens ist jedoch von der angestrebten Verwendung der Ergebnisse abhängig. Anpassungen können daher u. a. in folgender Hinsicht notwendig sein:

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 2060. 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 sind daher ggf. mehrere geeignete Zeitpunkte zu analysieren.
- Je nach beabsichtigter Verwendung der Ergebnisse ist ein angemessener Detaillierungsgrad zu wählen. Wenn es bei einer solchen Analyse wie hier um einen relativen Vergleich der Auswirkungen, z. B. für unterschiedliche Auswirkungsbereiche, geht (vgl. Ziel der Priorisierung im Rahmen der Umsetzung der nationalen Anpassungsstrategie), ist eine weniger detaillierte Betrachtung notwendig, als wenn die Ergebnisse z. B. als Basis für Kosten-Nutzen-Bewertungen von möglichen ortsspezifischen Anpassungsmassnahmen quantitativ erfasst werden sollen. Im letzten Fall ist ein deutlich höherer Detaillierungsgrad notwendig, wie er in Risikoanalysen z. B. im Naturgefahrenbereich üblich ist (vgl. z. B. Bründl et al. 2009).

Räumliche Grösse der analysierten Fallstudie

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

Beabsichtigte Verwendung der Ergebnisse

5 Literatur

- ARE/BAFU (Hrsg.) (2008): Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.
- BABS (2003): KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes. Erläuterung der Methode. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.
- BAFU (2012): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bründl, M.; Romang, H.; Holthausen, N.; Merz, H.; Bischof, N. (2009): Risikokzept für Naturgefahren –Leitfaden. Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokzept. Vorläufige Version Februar 2009. Plattform Naturgefahren PLANAT.
- CH2011 (2011): Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp, ISBN: 978-3-033-03065-7
- EBP/SLF/WSL (2011): Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL (2013): Analyse klimabedingter Risiken und Chancen im Kanton Aargau. Fallstudienbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern.
- 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.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

- 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.
- MeteoSchweiz (2013): Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht, Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- 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.
- 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.
- 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.
- Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, 692 S. Zitiert nach Schneider et al. (2007).

A1 Monetarisierung-Ansätze

Indikator	Einheit	Grundlagen	Bemerkung	Vorschlag für Klimarisikoprüfung [in CHF]	Begründung
Erträge	in Fr.	-	-	1:1	-
Aufwendungen	in Fr.	-	-	1:1	-
Vermögensschäden und Bewältigungskosten	in Fr.	-	-	1:1	-
Hitzebetroffene	Anzahl Personen-Hitzetage	-	Einschränkung des Wohlbefindens durch Hitzetage in Verbindung mit Tropennächten. Der Wert gilt für die Hälfte der Hitzetage mit Tropennächten (Annahme: nur jeder zweite solche Tag führt tatsächlich zu Belastungen) und jeweils nur für die Hälfte der Bevölkerung (nicht alle sind dadurch belastet).	50	Deutlich höherer Wert als bei Kältebetroffenen, da meist unabwendbar (nicht durch Heizen, Kleidung etc. ausgleichbar).
Kältebetroffene	Anzahl Personen-Kältetage	-	-	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
Von Allergien betroffene	Anzahl Personen-Tage	-	-	10	Gleicher Wert wie Kältebetroffene
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)	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	Da auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel Naturgefahren eine bedeutende Rolle spielen, wird dieser Monetarisierungsansatz als geeignet beurteilt.
Artenvielfalt	Qual. Klassen			keine Monetarisierung	
Fläche der wertvollen Biotope	Qual. Klassen			keine Monetarisierung	

