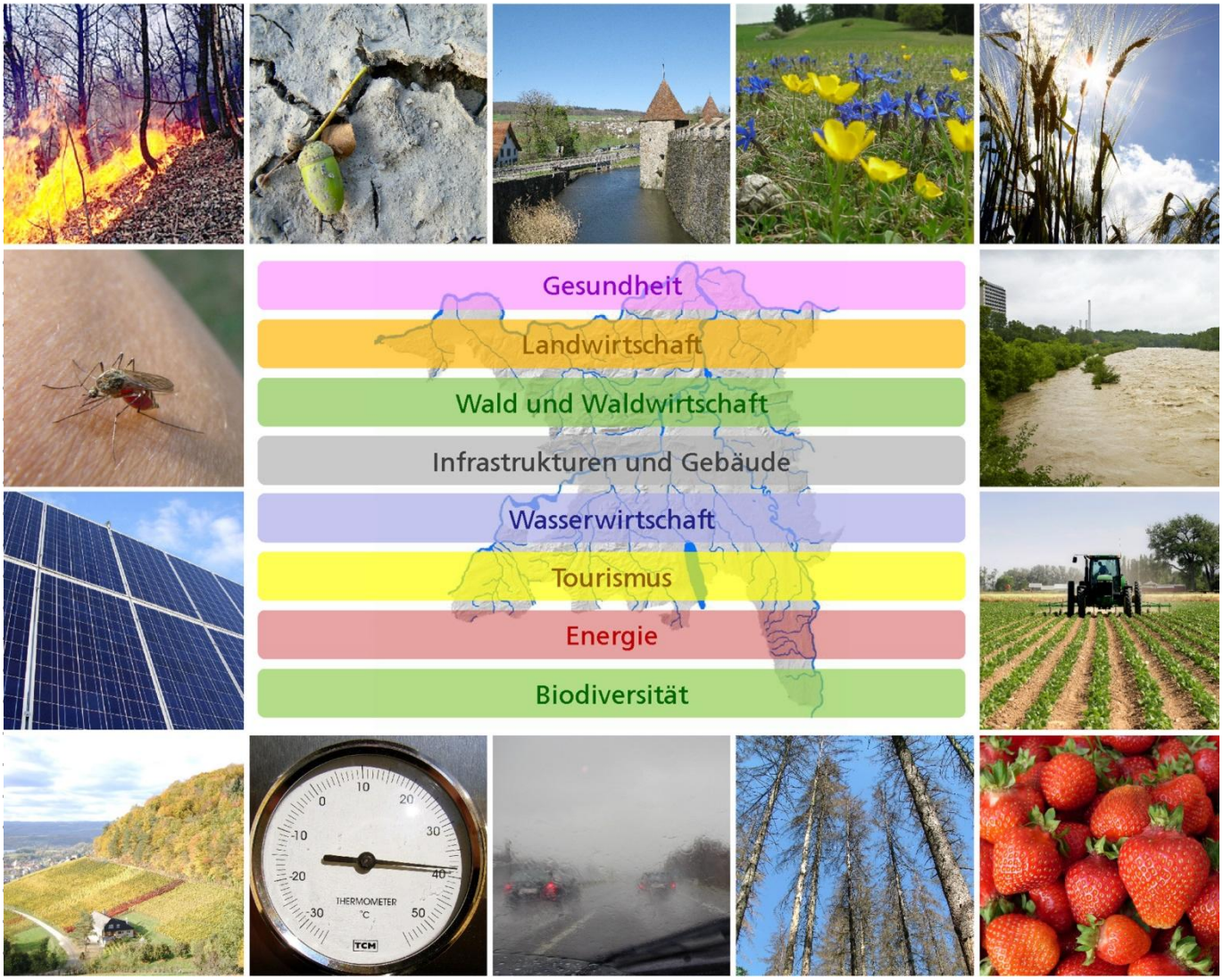
Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau

Ergebnisbericht



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Ernst Basler + Partner

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 (Ernst Basler + Partner)
Marco Pütz (WSL)
Michael Bründl (SLF)

Begleitung
Pamela Köllner-Heck, Thomas Probst, Roland Hohmann, Paul Filliger, Martina Zoller (BAFU), Norbert Kräuchi (Kanton AG)

Juni 2013

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

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

Vorwort

Das globale Klima verändert sich. Auch in der Schweiz sind Gesellschaft, Wirtschaft und Natur davon betroffen, und müssen sich bereits heute auf die Veränderungen vorbereiten. Neben der vordringlichen Verminderung der Treibhausgasemissionen wird die Anpassung an die Folgen des Klimawandels immer wichtiger.

Deshalb hat der Bundesrat am 2. März 2012 den ersten Teil der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel verabschiedet. Mit der Anpassungsstrategie setzt er den Rahmen für ein koordiniertes Vorgehen bei der Anpassung an den Klimawandel auf Bundesebene. Gleichzeitig erteilte der Bundesrat den Auftrag, einen Aktionsplan für die Erreichung der strategischen Anpassungsziele zu entwickeln. Mit gezielten Massnahmen soll die Schweiz Chancen, die sich aufgrund des Klimawandels ergeben, nutzen, und Risiken des Klimawandels minimieren.

Als Grundlage werden die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz sektorenübergreifend analysiert. Die Analyse erfolgt in sechs Schritten für die sechs Grossräume: Mittelland, Alpen und Voralpen, Jura, Südschweiz und Grosse Agglomerationen. Für jeden dieser Grossräume wurde ein repräsentativer Kanton bestimmt, welcher im Detail analysiert wird.

Die Ergebnisse der Fallstudie Aargau, welche das Mittelland repräsentiert, sind nicht nur für die Weiterentwicklung der nationalen Anpassungsstrategie interessant, sondern liefern auch den Entscheidungsträgern im Kanton Aargau wichtige Grundlagen. Dank der systematischen Vorgehensweise ist es gelungen, die wichtigsten Risiken und Chancen des Klimawandels zu identifizieren, und weitgehend zu beziffern. Damit können Schwerpunkte für die Anpassung und der daraus folgende Handlungsbedarf bestimmt werden.

Zur Fallstudie Aargau haben eine Reihe von Experten durch ihre Auskunftsbereitschaft und ihre konstruktive Kritik beigetragen, wodurch diese Analyse erst ermöglicht wurde. Die Ausführungen entsprechen letztendlich aber der Sichtweise des Projektteams und nicht unbedingt jedes einzelnen Experten.

Um die Ergebnisse einordnen zu können, sind folgende zwei Aspekte zu beachten:

(a) Die Studie geht bei der Bestimmung der Risiken und Kosten davon aus, dass keine Anpassungsmassnahmen ergriffen werden. Dieses Szena-

rio wird kaum eintreten, da die Risiken in vielen Fällen mit relativ einfachen Massnahmen gesenkt werden können. Die Studie soll damit eine Entscheidungsgrundlage bieten für die Priorisierung von Anpassungsmassnahmen.

(b) Die mit dieser Studie verbundenen Unsicherheiten sind erheblich, schliesslich wagen wir einen Blick 50 Jahre in die Zukunft. In den meisten Fällen liegen keine harten wissenschaftlichen Fakten vor. Aus diesem Grund mussten bei fehlenden Daten möglichst plausible Annahmen getroffen werden. Die gewählte Systematik erlaubt jedoch, diese Annahmen später anzupassen und die Studie zu aktualisieren. Ist zum Beispiel eine genauere Zahl zu den vorzeitigen Todesopfern infolge Hitzewellen im Kanton Aargau bekannt, können die Rechnungen auf einfache Weise angepasst werden.

Dank dem pragmatischen und systematischen Ansatz ist es möglich, auf Grundlage des heutigen Wissens die wichtigsten klimabedingten Risiken und Chancen ganzheitlich zu erfassen und verschiedene Sektoren zu vergleichen. So zeigen die Ergebnisse, dass in verschiedenen Bereichen bedeutende Auswirkungen zu erwarten sind. So könnte der Klimawandel im Kanton Aargau im Jahr Gesundheitsbelastungen in Höhe von 100 bis 300 Mio. Franken verursachen. Im Energiebereich könnte hingegen die aargauische Bevölkerung vom Klimawandel profitieren, da sich im Jahr 2060 die jährlichen Heizkosten um 80 bis 180 Mio. Fr. reduzieren könnten. Mit einer vorausschauenden Planung können Chancen genutzt und Risiken reduziert werden; – sowohl auf nationaler wie auch auf kantonaler Ebene.

Andrea Burkhardt
Abteilung Klima
Bundesamt für Umwelt

Dr. Norbert Kräuchi
Abteilung Landschaft und Gewässer
Kanton Aargau

Dank

Wir danken allen beteiligten Personen für Ihre wertvollen Beiträge zum Projekt, v.a. den folgenden:

„Auswirkungsbereichs-Experten“

Dr. Philippe Baltzer (Abt. für Umwelt, BVU, Kanton AG),

Dr. Peter Brang (Eidg. Forschungsanstalt WSL),

Prof. Dr. med. Charlotte Braun-Fahrländer (Swiss TPH/Universität Basel),

Dr. med. Maria Inés Carvajal (Kantonsärztlicher Dienst, Kanton AG),

Markus Feltscher (Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen),

Prof. Dr. Jürg Fuhrer (Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART),

Beat Goldstein (Abt. Energiewirtschaft, BFE),

Dr. Salome von Greyerz (Abt. Gesundheitsstrategien, BAG),

Simon Grossniklaus (Landwirtschaft Aargau, Kanton AG),

Theo Kern (Aargauischer Waldwirtschaftsverband),

Dr. Daniel Kolb (Abt. Raumentwicklung, Kanton AG),

Christian Küchli (Abt. Wald, BAFU),

Dr. Therese Lehmann (Center for Regional Economic Development, Universität Bern),

Dr. Werner Leuthard (Abt. Energie, Kanton AG),

Rolf H. Meier (Abt. Tiefbau, Kanton AG),

Alain Morier (Abt. Wald, Kanton AG),

Matthias Müller (Landwirtschaft Aargau, Kanton AG),

René Müller (Abt. Militär und Bevölkerungsschutz, Katastrophenschutz, Kanton AG),

Marcel Murri (Abt. Wald, Kanton AG),

Urs Niffeler (Gesundheitsversorgung Aargau, Sektion Planung)

Marco Peyer (Abt. Raumentwicklung, Kanton AG)

Patrick Rötheli (Abt. Landschaft und Gewässer, Gewässernutzung, Kanton AG),

Dr. Bruno Schädler (Gruppe Hydrologie, Geogr. Institut, Universität Bern),

Dr. Daniel Schaub (Abt. für Umwelt, Kanton AG),

Dr. Gian-Reto Walther (Abt. Arten, Ökosysteme, Landschaften, BAFU),

Frank Weingardt (Fachstelle Elementarschadenprävention, AGV),

Prof. Dr. Alexander Wokaun (Allgemeine Energie ENE, Paul-Scherrer-Institut).

„Gefahren/Effekt-Experten“

Dr. Hugo Aschwanden (Abt. Wasser, BAFU),

Dr. Mischa Croci-Maspoli (Klimainformation, MeteoSchweiz),

Urs Egloff (Sektion Gewässernutzung, Kanton AG),

Dr. Christophe Lienert (Abt. Landschaft und Gewässer, Gewässernutzung, Kanton AG),

Prof. Dr. Christoph Schär (Institut für Atmosphäre und Klima, ETH),

Ruth Hauser (Wissensmanagement, BVET),

Dr. Christoph Kull (OcCC).

Begleitgruppe

Dr. David Bresch (Sustainability and Emerging Risk Management, SwissRe),

Dr. Markus Hohl (Risikogrundlagen, Bundesamt für Bevölkerungsschutz),

Dr. Peter Greminger (BAFU),

Carolin Schärpf (Abt. Gefahrenprävention, BAFU),

Stéphane Losey (Abt. Gefahrenprävention, BAFU)

Dr. Norbert Kräuchi (Abt. Landschaft und Gewässer, Kanton AG),

Silvia Ruprecht-Martignoli (Abt. Ökonomie und Umweltbeobachtung, BAFU).

Zusammenfassung

Einleitung

Klimawandel: Anpassung erforderlich

Der Klimawandel ist schon heute messbar und wird weiter voranschreiten. In der Schweiz werden sich Umwelt, Mensch und Wirtschaft im Laufe des 21. Jahrhunderts an die sich verändernden Rahmenbedingungen anpassen müssen. Das revidierte CO2-Gesetz trägt diesen Änderungen im Artikel 8 Rechnung, in dem der Bund beauftragt wird, Grundlagen zu erarbeiten, die für die Ergreifung von Massnahmen zur Vermeidung und Bewältigung von Schäden an Personen oder Sachen von erheblichem Wert infolge des Klimawandels notwendig sind. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Interdepartementalen Ausschusses Klima (IDA Klima) unter Federführung des BAFU eine Anpassungsstrategie für die Schweiz erarbeitet.

Schweizweite Analyse klimabedinger Risiken und Chancen

Transparente und nachvollziehbare Abschätzung von Risiken und Chancen

Um den Handlungsbedarf für die Anpassung zu identifizieren, sollen die Auswirkungen des Klimawandels und die damit verbundenen Risiken und Chancen abgeschätzt und verglichen werden. Damit können die Bereiche mit dem grössten Handlungsbedarf identifiziert und Schwerpunkte für die Anpassung in der Schweiz gesetzt werden. In einem Pilotprojekt (EBP/SLF/WSL 2011) wurde eine Methode entwickelt, um Chancen und Risiken transparent abschätzen und vergleichen zu können.

Ziele der Fallstudie Kanton Aargau

Ziel der vorliegenden Fallstudie Kanton Aargau ist es, die Risiken und Chancen im Kanton Aargau exemplarisch für das Mittelland zu erfassen und dabei die Methode erstmals vollständig anzuwenden. Neben der Verwendung der Resultate für die nationale Anpassungsstrategie soll die Fallstudie auch dem Kanton Aargau als eine weitere Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel dienen. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Fallstudie zusammen. Eine ausführlichere Arbeitsdokumentation der Analyse liegt dem Bundesamt für Umwelt vor (vgl. EBP/SLF/WSL 2013a).

Vorgehen

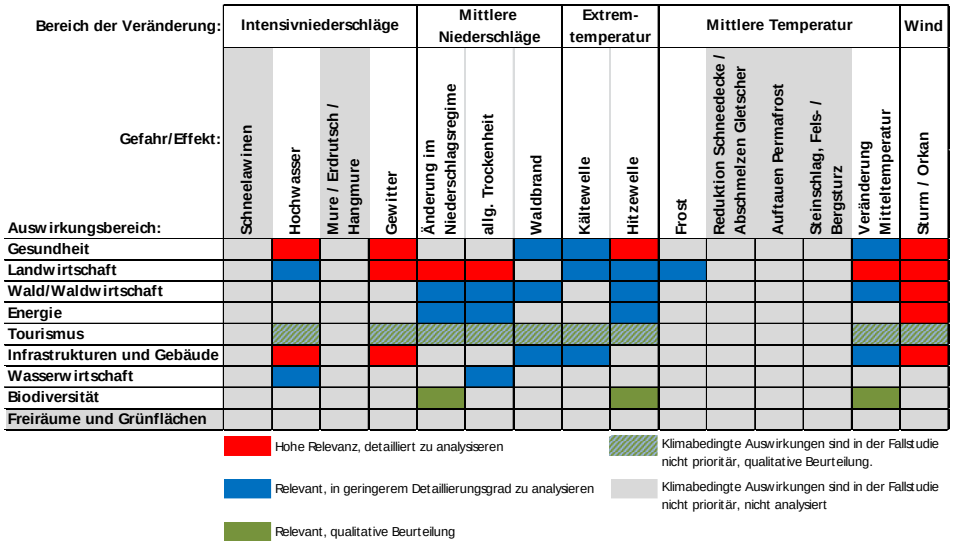
Szenarien, Gefahren/Effekte und Indikatoren

In der Fallstudie Aargau wurden die Risiken und Chancen für den Zeitraum um 2060 und für zwei Klimaszenarien dargestellt. Die Klimaszenarien beziehen sich auf den Zeitraum 2045 bis 2074 (vgl. CH2011 und MeteoSchweiz 2013). Vereinfachend wird im Folgenden von den Klimaszenarien „2060 – schwach“ und „2060 – stark“ gesprochen. Zusätzlich wurde ein Szenario zur möglichen Entwicklung des sozioökonomischen und demographischen Umfeldes entwickelt. Es folgte das Identifizieren der Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Auswirkungsbereiche. Die relevanten Auswirkungen wurden wo möglich anhand von einheitli-

chen Indikatoren quantifiziert. Einen vollständigen Überblick über die Methode gibt das Dokument „Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz: Methodenbericht“ EBP/SLF/WSL (2013b).

Um die Analyse zu fokussieren, wurden in Abstimmung mit Vertretern von kantonalen Fachstellen zunächst die Schwerpunkte der Fallstudie festgelegt. Dabei wurde für jeden Auswirkungsbereich beurteilt, durch welche der vorgegebenen Gefahren und Effekte ein massgeblicher, durch den Klimawandel bedingter Einfluss zu erwarten ist. Das Ergebnis dieses Prozesses ist in der folgenden Matrix dargestellt.

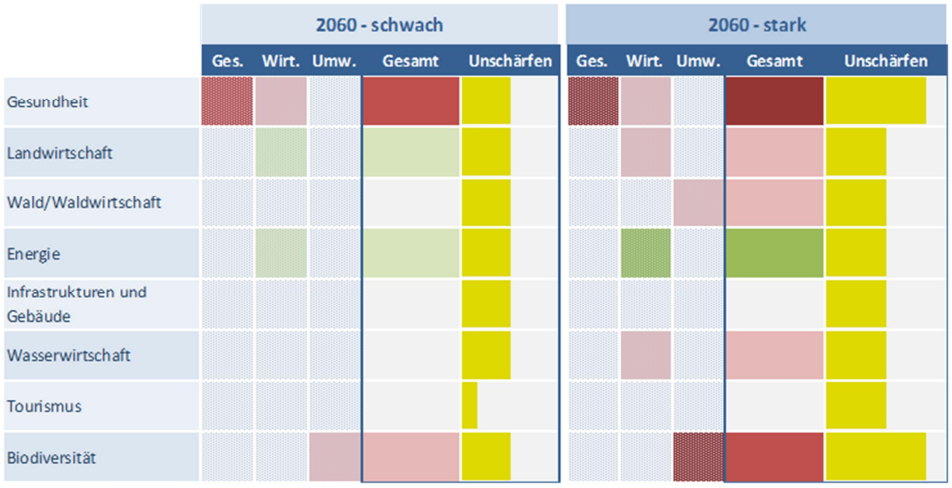
Matrix zur Darstellung des Fokus der Fallstudie



Ergebnisse: Klimafolgen für den Kanton Aargau

Die folgende Übersicht fasst alle berücksichtigten Auswirkungen des Klimawandels für die beiden untersuchten Klimaszenarien zusammen. Die Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt sind darin separat dargestellt und schliesslich zu einer Gesamteinschätzung zusammengeführt. Die hier dargestellten Unschärfe-Klassen beziehen sich auf diese Gesamtbeurteilung.

Übersicht über die zentralen Ergebnisse für den Kanton Aargau



Bedeutung der Ergebnisse für den Kanton Aargau:

schwaches Klimaszenario mit vorerst moderaten Auswirkungen

Das Klimaszenario „2060 - schwach" (Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1.4°C) führt gemäss den vorliegenden Ergebnissen im Auswirkungsbereich Gesundheit bereits zu relevanten Belastungen. Im Auswirkungsbereich Energie sind die positiven Effekte einer Verminderung des Heizenergiebedarfes hervorzuheben. In den anderen Auswirkungsbereichen sind eher moderate Auswirkungen im Kanton Aargau zu erwarten. Dem Szenario liegt allerdings ein Emissionsszenario mit einer deutlichen Minderung der globalen Treibhausgas-Emissionen zugrunde, das aus heutiger Sicht als sehr optimistisch beurteilt werden muss.

starke Veränderung mit bereits schwerwiegenden Auswirkungen für Gesellschaft und Biodiversität

Das Klimaszenario „2060 - stark" (Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 3.1°C) führt bereits im Jahr 2060 zu gravierenderen gesundheitlichen Belastungen der Bevölkerung im Kanton Aargau. Hitzewellen wie im Jahr 2003 würden zur Normalität mit gesundheitlichen Belastungen v. a. für ältere und pflegebedürftige Menschen aber auch einen grossen Teil der sonstigen Bevölkerung. Als Folge der Verlängerung der Vegetationsperiode müsste auch mit einer zunehmenden Belastung von Pollen-Allergikern gerechnet werden. Im Bereich Biodiversität werden bei diesem Szenario bis 2060 problematische Entwicklungen durch eine Veränderung der Ökosysteme erwartet. Der Klimawandel wird aber auch in den meisten anderen Auswirkungsbereichen deutlich zu spüren sein.

Gewinner und Verlierer des Klimawandels

Der Klimawandel wird zu einer Veränderung der heutigen klimabeeinflussten Risiken und Chancen führen. Es wird „Gewinner" (z. B. Privathaushalte infolgeabnehmender Heizkosten) und „Verlierer" des Klimawandels (z. B. gesundheitlich Beeinträchtigte infolge Hitzewellen) geben. Gegenüber einem moderaten Klimawandel werden bei Szenario „2060 - stark" jedoch schon bis 2060 manche positiven Effekte einer moderaten Erwärmung (z. B. erhöhte Hektarerträge in Land- und Waldwirtschaft) wieder in negative Wirkungen umgekehrt (z. B. sinkende Hektarerträge infolge Wassermangel und Hitzestress).

Beeinflussbarkeit

Der Bericht soll aufzeigen, welche Wirkungen auftreten, wenn keine Anpassungsmassnahmen getroffen werden. Er kann damit eine Entscheidungsgrundlage bieten für die Frage, wo Anpassungsmassnahmen besonders wichtig sind. Die Höhe der klimabedingten Risiken und Chancen kann aber wesentlich durch Anpassungsmassnahmen beeinflusst werden, die hier mit Ausnahme der Nutzung bestehender Einrichtungen oder Prozesse nicht berücksichtigt sind. Das vorliegende Bild wird also in den meisten Bereichen nur eintreffen, wenn bis 2060 keine wesentlichen Anpassungsanstrengungen erfolgen. Auf der anderen Seite gibt es auch Risiken und Chancen, die so voraussichtlich eintreten werden, ohne dass Massnahmen dagegen ergriffen werden könnten. Dazu gehört zum Beispiel die erwartete höhere Belastung von Allergikern durch Blütenpollen.

Wichtige Aspekte bei der Beurteilung

Belastbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse stützen sich auf die heute vorliegenden Kenntnisse und auf Abschätzungen, die auf möglichst plausiblen und mit Fachleuten abgestimmten Annahmen beruhen. Es handelt sich aber um einen Blick 50 Jahre in die Zukunft, mit entsprechenden Unsicherheiten bezüglich der angenommenen Entwicklungen. Die Zusammenhänge sind bei vielen Prozessen sehr komplex und mehrfach wirken verschiedene Faktoren in verschiedene Richtungen. Die ermittelten Auswirkungen entsprechen den auch diesbezüglich getroffenen Annahmen. Wenn sich der Wissensstand zu zentralen Zusammenhängen infolge neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse deutlich verbessert könnten die Annahmen angepasst und die Analyse aktualisiert werden.

Unterscheidung von Irreversibilitäten und Beeinträchtigungen

Die Klimaänderung führt zu qualitativ unterschiedlichen Auswirkungen: Zum einen werden irreversible Folgen erwartet, wie z. B. eine Zunahme an Todesopfern bei häufigeren und intensiveren Hitzewellen oder die Veränderung der Artenzusammensetzung. Auf der anderen Seite stehen weniger gravierende Auswirkungen, wie vorübergehende gesundheitliche Beeinträchtigungen. Je nach Verwendung der Ergebnisse sollten diese wesentlichen Unterschiede in den Auswirkungen mit berücksichtigt werden.

Erwartungswert und Auswirkungen des 100-jährlichen Ereignisses

Auswirkungen tatsächlicher Ereignisse und Wildcards sollten berücksichtigt werden

Um die Ergebnisse zwischen den Gefahren und Effekten aber auch den Auswirkungsbereichen vergleichbar zu machen, werden die Auswirkungen mit dem statistischen Mass Erwartungswert angegeben. Dieser bezeichnet die über die Jahre gemittelten jährlichen Auswirkungen. Gefahren wie Hochwasser oder Stürme treten zwar vergleichsweise selten auf, dafür im Ereignisfall häufig mit sehr grossen Schäden. Der mittlere jährliche Erwartungswert praktisch nie ein. Um die Auswirkungen solcher Gefahren besser interpretieren zu können, wurden auch die ermittelten Auswirkungen von 100-jährlichen Ereignissen angegeben. Beim Ableiten von Handlungsbedarf sollten bei Naturgefahren auch die Auswirkungen dieser 100-jährlichen Ereignisse und auch das Eintreten von eher unwahrscheinlichen, aber mit schwerwiegenden Auswirkungen verbundenen Ereignissen (Wildcards) berücksichtigt werden.

Klimaänderung geht über 2060 hinaus

Die dargestellten Auswirkungen müssen als Vorboten einer noch gravierenderen Entwicklung in den folgenden Jahrzehnten in verschiedenen Auswirkungsbereichen interpretiert werden, da die Klimaänderung in jedem Fall fortschreiten wird. Es muss z. B. davon ausgegangen werden, dass bei deutlich verringerten Niederschlägen während der Vegetationsperiode Ackerbau ohne Bewässerung nicht mehr möglich wäre, dass im

Wald grossflächige Schäden entstehen und die Pegel von Fliessgewässern und mit ihnen die Wasserverfügbarkeit infolge abgeschmolzener Gletscher stark zurückgehen werden (vgl. BAFU 2012).

Empfehlungen

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Analyse werden folgende Empfehlungen gemacht:

- Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass in verschiedenen Bereichen bedeutende Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten sind. Mit einer vorausschauenden Planung können Chancen genutzt und Risiken reduziert werden. Da sich der Klimawandel und dessen Auswirkungen nicht an räumlichen oder thematischen Grenzen hält, sollte der Kanton hier aktiv die Verantwortung suchen und mit den betroffenen Departementen und Akteuren folgende Arbeiten angehen:

  Verwendung der Ergebnisse im Kanton Aargau

  Vorgehensempfehlungen

  - Verbreiten der Erkenntnisse in den betroffenen Departementen und Abteilungen, damit diese sie in ihrer Arbeit berücksichtigen können,
  - Definieren einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel mit Festlegung der Verantwortlichkeiten bei der Umsetzung
  - Ermitteln des Handlungsbedarfs seitens des Kantons aber auch seitens von Gemeinden
  - Ermitteln und Bewerten von Handlungsoptionen
  - Erste Massnahmen einleiten
  - Abstimmung mit Nationalen Strategien / Aktivitäten

- Bei einzelnen Klimafolgen wird eine vertiefte Analyse empfohlen, um den Handlungsbedarf auf ausreichend belastbare Erkenntnisse zu stützen, z. B. bezüglich einer möglichen Gewöhnung der Bevölkerung an die höheren Temperaturen und entsprechend geringere gesundheitliche Auswirkungen, bezüglich der Wirkung einer längeren Vegetationsperiode auf Allergiebeschwerden oder bezüglich der Klimawandelfolgen für den Wald und die Waldwirtschaft.

  Vertiefte Analyse einzelner Aspekte

- Die Forschung wird in den nächsten Jahren weitere Erkenntnisse gewinnen, mit denen verschiedene Zusammenhänge besser beurteilt werden können und getroffene Annahmen überprüft und ggf. angepasst werden sollten. Eine Neubeurteilung wird dringend empfohlen, wenn massgebliche neue Erkenntnisse zur Entwicklung der Niederschläge und deren saisonale Verteilung vorliegen.

  Neubeurteilung bei Vorliegen massgeblicher neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse

Inhaltsverzeichnis

1 Die Fallstudie Kanton Aargau 1
1.1 Hintergrund der Studie 1
1.2 Kurzbeschreibung der Fallstudienregion 2
1.3 Ausgangslage für die Analyse 4
2 Vorgehen und Elemente der Analyse 5
2.1 Übersicht zum Vorgehen 5
2.2 Szenarien für 2060 5
2.3 Analyse qualitativer und quantitativer Informationen 8
2.4 Gefahren und Effekte 9
2.5 Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen 10
2.6 Indikatoren 10
2.7 Risiken und Chancen, Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards 11
2.8 Systematische Berücksichtigung von Unschärfen 12
3 Risiken und Chancen des Klimawandels in den betrachteten Bereichen 15
3.1 Schwerpunkte der Analyse 15
3.2 Gesundheit 16
3.3 Landwirtschaft 22
3.4 Wald/Waldwirtschaft 27
3.5 Energie 32
3.6 Infrastrukturen und Gebäude 37
3.7 Wasserwirtschaft 43
3.8 Tourismus 47
3.9 Biodiversität 49
4 Synthese 55
4.1 Übersicht über quantitative Ergebnisse 55
4.2 Gesamtbeurteilung 57
4.3 Empfehlungen 60
5 Literatur 65

1 Die Fallstudie Kanton Aargau

1.1 Hintergrund der Studie

Entwicklung einer Anpassungsstrategie

Der Klimawandel ist schon heute messbar und wird weiter voranschreiten (vgl. CH2011). In der Schweiz werden sich Umwelt, Mensch und Wirtschaft im Laufe des 21. Jahrhunderts an die sich verändernden Rahmenbedingungen anpassen müssen. Das revidierte CO2-Gesetz trägt diesen Änderungen im Artikel 8 Rechnung, in dem der Bund beauftragt wird, Grundlagen zu erarbeiten, die für die Ergreifung von Massnahmen zur Vermeidung und Bewältigung von Schäden an Personen oder Sachen von erheblichem Wert infolge des Klimawandels notwendig sind. Aus diesem Grund wird eine Anpassungsstrategie für die Schweiz unter Federführung des Interdepartementalen Ausschusses Klima (IDA Klima) erarbeitet.

Schweizweite Analyse klimabedinger Risiken und Chancen

Transparente und nachvollziehbare Abschätzung von Risiken und Chancen

Um den Handlungsbedarf für die Anpassung zu identifizieren sollen die Auswirkungen des Klimawandels und die damit verbundenen Risiken und Chancen abgeschätzt und verglichen werden. Damit können die Bereiche mit dem grössten Handlungsbedarf identifiziert und Schwerpunkte für die Anpassung in der Schweiz gesetzt werden. In einem Pilotprojekt (EBP/SLF/WSL 2011) wurde eine Methode entwickelt, um Chancen und Risiken transparent abschätzen und vergleichen zu können. Ziel der Fallstudie Kanton Aargau ist es, diese Methode erstmals vollständig anzuwenden. Sie wurde dabei auch weiter präzisiert (vgl. Methodenbericht EBP/SLF/WSL 2013b).

Funktion der Fallstudie Aargau in der Analyse für die ganze Schweiz

Im Rahmen der gesamtschweizerischen Analyse leistet die Fallstudie Aargau den zentralen Beitrag zur Abschätzung der klimabedingten Risiken und Chancen im Grossraum Mittelland. Bei Vorliegen von Fallstudien für die weiteren Grossräume (Jura, Voralpen, Alpen, Alpensüdseite, grosse Agglomerationen) wird eine Beurteilung für die gesamte Schweiz möglich sein.

1.2 Kurzbeschreibung der Fallstudienregion

Grösse, Struktur und Bevölkerung

Der Aargau ist in typischer Schweizer Mittellandkanton. Er umfasst eine Fläche von 1'404 km^2, zählte 2010 612'611 Einwohner und weist somit eine hohe Bevölkerungsdichte von 430 Personen pro km^2 auf. Kleinstädte prägen die Siedlungsstruktur, die Zwillingsstädte Wettingen und Baden stellen den grössten Ballungsraum. Der Kanton ist in elf Bezirke und 220 Gemeinden unterteilt. Die Hauptstadt ist Aarau.

Prägende Landschaftselemente

Die Fallstudienregion ist das „Wasserschloss der Schweiz", durch das rund 75% des Schweizer Flusswassers fliesst. Entsprechend weist er grosse Talauen auf (Auenland Aargau). Der Aargau ist ein Energiekanton (Wasser- und Kernenergie), ein waldreicher Kanton und ein Kanton mit intensiver Landwirtschaft.

Bedeutung der Industrie

Der Aargau ist der grösste Industriekanton der Schweiz. 25.3 % der Beschäftigten arbeiten in der Industrie. Im sekundären Sektor (Industrie und Gewerbe) bietet der Kanton 95'844 Personen Arbeit in 6'055 Betrieben (Kantonales Statistisches Amt 2010), welche einen ausgewogenen Branchenmix bilden (Maschinen- und Elektroindustrie, Kunststoff- und Materialtechnologie, Pharma-, Bio- und Medizinaltechnologie, Chemische Industrie).

Abbildung 1
Karte des Kantons Aargau
Quelle: AGIS

© Aargauisches Geografisches Informationssystem (AGIS)

1.3 Ausgangslage für die Analyse

Gute Datengrundlagen

Der Kanton Aargau hat sich in verschiedenen Projekten und Berichten mit dem Klimawandel und den vom Klimawandel betroffenen Bereichen befasst und damit eine sehr gute Grundlage für die Fallstudie geschaffen. Zu nennen sind insbesondere der Statusbericht „Auswirkungen des Klimawandels auf die Aufgabenbereiche des Departements Bau, Verkehr und Umwelt" (BVU 2009a), der zweite Bericht zur Nachhaltigen Entwicklung im Kanton Aargau (BVU 2009b) und Dokumente aus den einzelnen Auswirkungsbereichen (z. B. für den Wald BVU 2007 und BVU 2010).

Fallstudie als Grundlage für kantonale Anpassungsaktivitäten

Neben der Verwendung als Grundlage für die Weiterentwicklung der nationalen Anpassungsstrategie, soll die Fallstudie natürlich auch dem Kanton Aargau als eine weitere Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel dienen.

Abschätzung der Risiken, keine Beurteilung von Anpassungsbedarf oder -massnahmen

Ziel der Fallstudie ist die Abschätzung der massgeblichen klimabedingten Risiken und Chancen, nicht jedoch die Beurteilung des Handlungsbedarfes oder das Aufzeigen von geeigneten Anpassungsmassnahmen. Die Analyse kann bzw. soll aber als Grundlage dienen, um eine solche Beurteilung auf Ebene Schweiz und im Kanton Aargau vorzunehmen.

Bericht fasst Ergebnisse zusammen

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Fallstudie zusammen. Eine ausführlichere Arbeitsdokumentation der Analyse liegt dem Bundesamt für Umwelt vor (vgl. EBP/SLF/WSL 2013a).

2 Vorgehen und Elemente der Analyse

2.1 Übersicht zum Vorgehen

Szenarien, Gefahren/Effekte und Indikatoren

In der Fallstudie Aargau werden die Risiken und Chancen für das Jahr 2060 analysiert, also mit einem Blick 50 Jahre in die Zukunft. Dazu werden zunächst Szenarien zu möglichen Klimaentwicklungen und zur Entwicklung des sozioökonomischen und demographischen Umfeldes entwickelt. Anschliessend werden die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Auswirkungsbereiche identifiziert. Die relevanten Auswirkungen sind wo möglich anhand von einheitlichen Indikatoren quantifiziert. Einen vollständigen Überblick über die Methode gibt EBP/SLF/WSL (2013).

2.2 Szenarien für 2060

Klimaszenarien und sozioökonomisches und demographisches Szenario für 2060

Die Auswirkungen des Klimawandels werden für den Zeitraum um 2060 und für zwei Klimaszenarien dargestellt. Die Klimaszenarien beziehen sich auf den Zeitraum 2045 bis 2074 (vgl. CH2011 und MeteoSchweiz 2013). Vereinfachend wird im Folgenden von den Klimaszenarien „2060 – schwach“ und „2060 – stark“ gesprochen. Um die Auswirkungen und später gegebenenfalls auch Anpassungsmassnahmen vor dem Hintergrund der sozioökonomischen und demographischen Veränderungen zu beurteilen, wird zudem ein Szenario dazu vorgestellt.

2.2.1 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: ein optimistisches Szenario „2060 - schwach“ und ein Szenario „2060 - stark“ mit weiterhin hohen CO_2-Emissionen. Das schwache Szenario entspricht dem erwarteten Klima, falls es gelingt, die Treibhausgas-Emissionen weltweit bis 2100 um fast 90% zu reduzieren (vgl. IPCC-Szenario RCP3PD). Das Szenario

„stark" entspricht der oberen Grenze der erwarteten Temperaturzunahme einer Weiterführung des derzeitigen Emissionstrends (vgl. IPCC-Szenario A1B; Niederschlagsentwicklung s.u.). Mit diesen Szenarien soll die Bandbreite der zu erwartenden Entwicklung aufgezeigt werden. Das Vorgehen zur Bestimmung der beiden Szenarien ist in EBP/SLF/WSL (2013) beschrieben und im Folgenden kurz erläutert.

Klima ändert sich auch nach 2060 weiter

In der Fallstudie wird ausschliesslich der Zeitraum bis 2060 betrachtet. Das Klima wird sich auch anschliessend weiter verändern und es ist von einer deutlichen weiteren Erwärmung auszugehen. Die Klimaszenarien beschreiben daher nur einen Zeitpunkt in einer deutlich längeren Entwicklung.

Temperatur

Zunahme der Mitteltemperatur erwartet

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 das vom BAFU entwickelte, schwache Szenario wird der Median des Stabilisierungsszenarios (RCP3PD) übernommen (Rundung auf 0.1°C). Für das starke Szenario 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. 3.4°C (vgl. Abbildung 2).

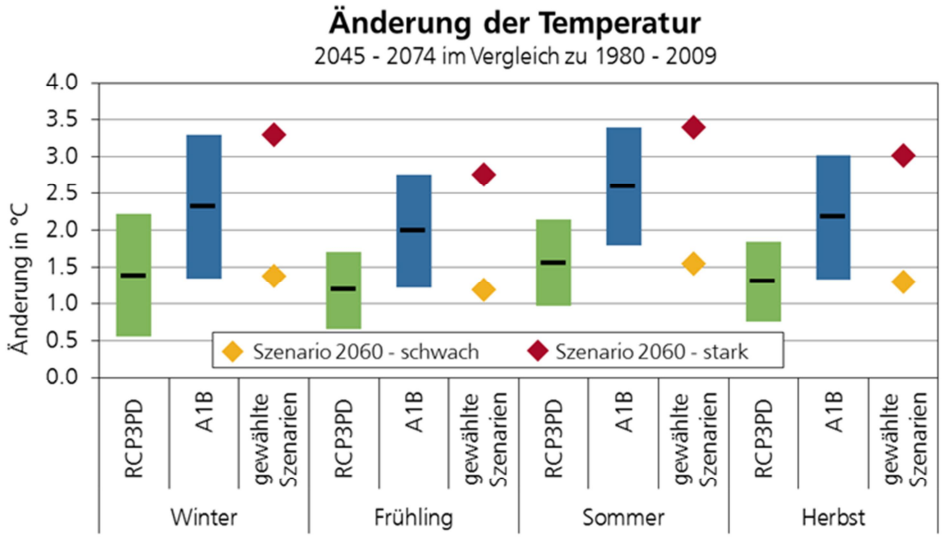


Abbildung 2
Änderung der mittleren Temperatur in der Nordostschweiz zwischen 2045-2074 und 1980-2009 für die Emissionsszenarien RCP3PD, A1B sowie für die in diesem Projekt gewählten Szenarien. Die Balken mit Strichen zeigen die tiefe, mittlere und hohe Schätzung.

Niederschlag

Unklare Entwicklung der Niederschläge

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 Sü-

den 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.

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 3).

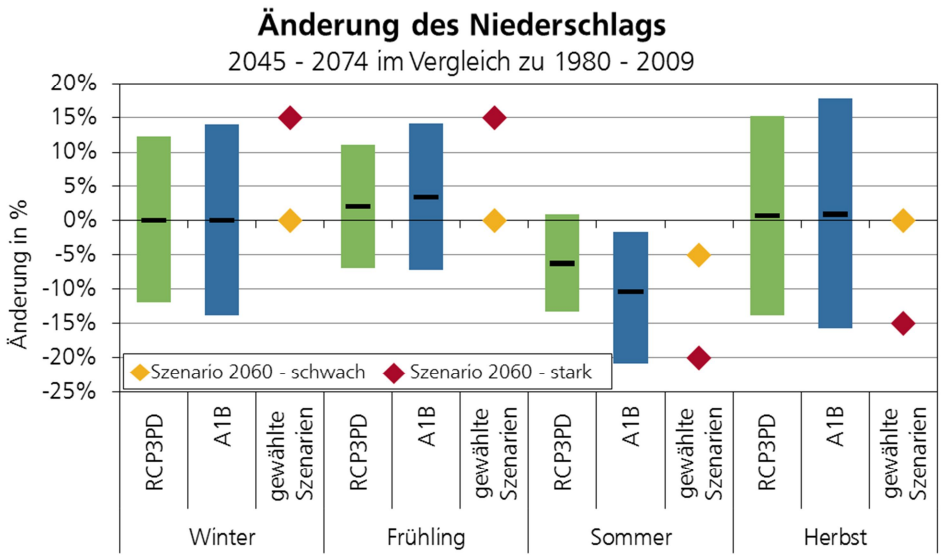


Abbildung 3
Änderung des mittleren Niederschlags zwischen 2045-2074 und 1980-2009 für die Emissionsszenarien RCP3PD, A1B sowie für die in diesem Projekt gewählten Szenarien schwache und starke Veränderung. Die Balken mit Strichen zeigen die tiefe, mittlere und hohe Schätzung

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.

Andere Kombinationen bei Interpretation 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.

So ist unklar, ob Winterstürme oder Hagelschlag 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 werden in dieser Fallstudie dennoch im

Änderung bei Sturm und Hagel über Sensitivitätsanalysen berücksichtigt

Rahmen von Sensitivitätsanalysen variiert und in der Interpretation der Gesamtergebnisse mitdiskutiert.

2.2.2 Sozioökonomisches und demographisches Szenario

Szenario CH → Szenario AG

Für die schweizweite Analyse wurde als Vorarbeit dieser Fallstudie zunächst ein sozioökonomisches und demographisches Szenario für die betrachteten Auswirkungsbereiche und für die ganze Schweiz entwickelt (vgl. EBP/SLF/WSL (2013c)), auf das sich später auch die regionalen sozioökonomischen Szenarien von anderen Fallstudien beziehen sollen. Anschliessend wurde ein Szenario für die Fallstudie Kanton Aargau entwickelt, das konkretere und regionalspezifische Aussagen ermöglicht und zusätzlich auf regionale Daten zurückgreift (vgl. EBP/SLF/WSL 2013b).

Inhalt

Das sozioökonomische und demographische Szenario formuliert relevante Entwicklungstrends in den verschiedenen Auswirkungsbereichen. 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.

Stellenwert im Bericht

Fokus im Bericht auf Klimaänderung

Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Auswirkungen des Klimawandels. Nur wo es für die Interpretation der Ergebnisse von besonderer Relevanz ist, wird auf Annahmen und Ergebnisse einer Berücksichtigung des sozioökonomischen und demographischen Szenarios hingewiesen. Weitere Informationen zu dem sozioökonomischen Szenario für den Kanton Aargau und zu dessen Einfluss auf Risiken und Chancen sind im Anhang zu diesem Bericht (separates Dokument) dargestellt.

2.3 Analyse qualitativer und quantitativer Informationen

Möglichst quantitative Analyse der wichtigsten Auswirkungen

Die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels wurden zunächst für jeden Auswirkungsbereich auf Basis einer Literaturanalyse zusammengestellt. Alle Klimafolgen, durch die ein massgeblicher Einfluss auf die Entwicklung der Risiken und Chancen erwartet wurde, wurden soweit möglich quantitativ analysiert.

Vorgehen

Das Vorgehen dabei orientierte sich an folgenden Schritten und wurde an die Verhältnisse in den Auswirkungsbereichen ausgerichtet:

1. Ermittlung der heutigen Auswirkungen einer Gefahr oder eines Effektes in einem mittleren Jahr und bei einem 100-jährlichen Ereignis, basierend auf Statistiken, Ereignisanalysen oder Expertenschätzungen.
2. Treffen von Annahmen über die klimabedingte Veränderung der mittleren Auswirkungen und der Intensität eines 100-jährlichen Ereignisses inkl. Abstimmung mit Experten aus dem jeweiligen Auswirkungsbereich
3. Berechnung bzw. Abschätzung der mittleren jährlichen Auswirkungen und der mittleren 100-jährlichen Auswirkungen für die Klimaszenarien.

Auch nicht quantifizierte Auswirkungen werden in Beurteilung einbezogen

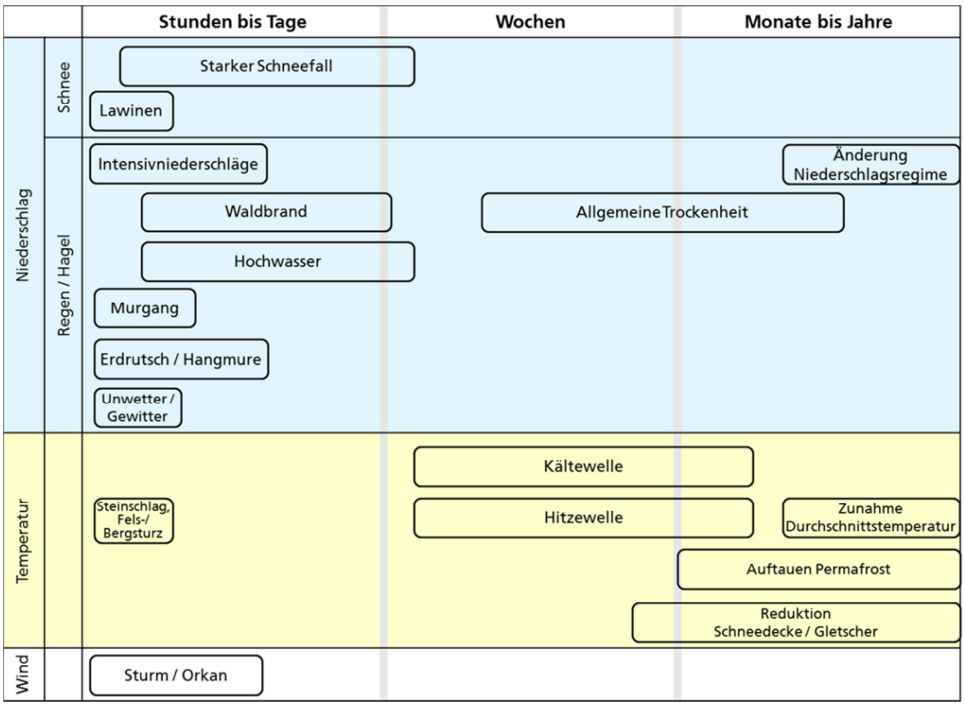
In einer Tabelle pro Auswirkungsbereich werden die quantitativ analysierten und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen zusammengestellt (vgl. Kapitel 3.2 bis 3.9). In die Beurteilung der Ergebnisse für jeden Auswirkungsbereich fliessen auch die nicht quantitativ betrachteten Auswirkungen ein.

2.4 Gefahren und Effekte

Mehrheitlich Veränderung bekannter Gefahren und Effekte

Im Rahmen von Analysen der klimabedingten Risiken und Chancen in der Schweiz sind folgende primäre Auswirkungen des Klimawandels zentral: Veränderungen in Temperaturen, Niederschlag und Windbewegungen. Je nachdem, wie diese Veränderung wirkt, sind unterschiedliche Gefahren und Effekte betroffen. Diese sind in Abbildung 4 dargestellt und hinsichtlich ihrer Dauer auf der Zeitachse charakterisiert. Es wird deutlich, dass die ganze Bandbreite von plötzlichen Ereignissen (z. B. Gewitter) bis hin zu langsamen Veränderungen (z. B. Zunahme der Durchschnittstemperatur) relevant ist. Hier ist die ganze Bandbreite der Gefahren/Effekte dargestellt. Die Auswahl der in der Fallstudie AG relevanten Gefahren und Effekte ist in 3.1 dargestellt.

Abbildung 4
Übersicht über die Gefahren und Effekte



2.5 Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen

Die Studie soll die klimabedingten Risiken und Chancen im Jahr 2060 ohne eine Anpassung an den Klimawandel zeigen. Sie soll aufzeigen, welche Wirkungen auftreten, wenn keine Anpassungsmassnahmen getroffen werden. Sie soll damit eine Entscheidungsgrundlage bieten für die Frage, wo Anpassungsmassnahmen besonders wichtig sind.

Analyse ohne neue Anpassungsmassnahmen

Eine gewisse Anpassung wird aber auch ohne neue Anpassungsmassnahmen stattfinden, z. B. durch intensiveres Nutzen bestehender Bewässerungsanalysen 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.

2.6 Indikatoren

Quantifizierung anhand von einheitlichen Indikatoren

Die Auswirkungen des Klimawandels werden anhand von Indikatoren quantifiziert. Um die verschiedenen Auswirkungsbereiche vergleichen zu können, werden die in Tabelle 1 dargestellten, einheitlichen Indikatoren verwendet. Die Methode (vgl. EBP/SLF/WSL 2013b) sieht noch weitere,

hier nicht dargestellte Indikatoren vor, die jedoch im Mittelland nicht relevant sind und hier nicht verwendet wurden.

Tabelle 1
Indikatoren zum Messen der Auswirkungen

	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 Übermurungen).
Gesellschaft	Hitzebetroffene	Anzahl Personentage	Anzahl Hitzetage (max. Temperatur >30°C) x Anzahl der von Hitzetagen negativ betroffenen Personen
	Von Allergien Betroffene	Anzahl Personentage	z. B. Dauer der Pollensaison x Anzahl Pollen-Allergiker
	Verletzte und 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		

2.7 Risiken und Chancen, Erwartungswerte, Ereignisfolgen und Wildcards

Risiko und Chance

Als Risiko wird das Produkt von Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmass eines Ereignisses oder einer Entwicklung bezeichnet, als Chance das Produkt von Eintretenswahrscheinlichkeit und positiver Folge 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, vgl. Kapitel 3.2 bis 3.9). Dies sind die Risiken und Chancen der einzelnen Gefahren und Effekte. Die Risiken und Chancen des Klimawandels ergeben sich aus der Veränderung der Risiken zwischen 2010 und 2060 (vgl. Kapitel 4.1).

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 im Folgenden 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 14). Diese Auswirkungen entsprechen z. B. den grössten jährlichen Schäden, mit denen im Mittel einmal pro Jahrhundert in der betrachteten Region zu rechnen ist.

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.

2.8 Systematische Berücksichtigung von 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. Die Unschärfe bzw. Ungewissheit wird für jeden dieser Aspekte pro Indikator in drei Stufen beurteilt: gering, mittel oder gross (vgl. EBP/SLF/WSL 2013b). Diese Einstufungen dienen der Berechnung der Unschärfeberei-

che, aus denen ersichtlich ist, wie gut die Ergebnisse mit den vorliegenden Daten und Grundlagen abgeschätzt werden können. Es ist nicht erstaunlich, dass diese Unschärfen bei einem 50-Jahre-Blick in die Zukunft teils recht gross sind.

3 Risiken und Chancen des Klimawandels in den betrachteten Bereichen

3.1 Schwerpunkte der Analyse

Um die Analyse zu fokussieren, wurden in Absprache mit Vertretern von kantonalen Fachstellen zunächst die Schwerpunkte der Fallstudie festgelegt. Dabei wurde für jeden Auswirkungsbereich beurteilt, durch welche der vorgegebenen Gefahren und Effekte ein massgeblicher, durch den Klimawandel bedingter Einfluss zu erwarten ist. Das Ergebnis dieses Prozesses ist in Abbildung 5 in einer Matrix dargestellt.

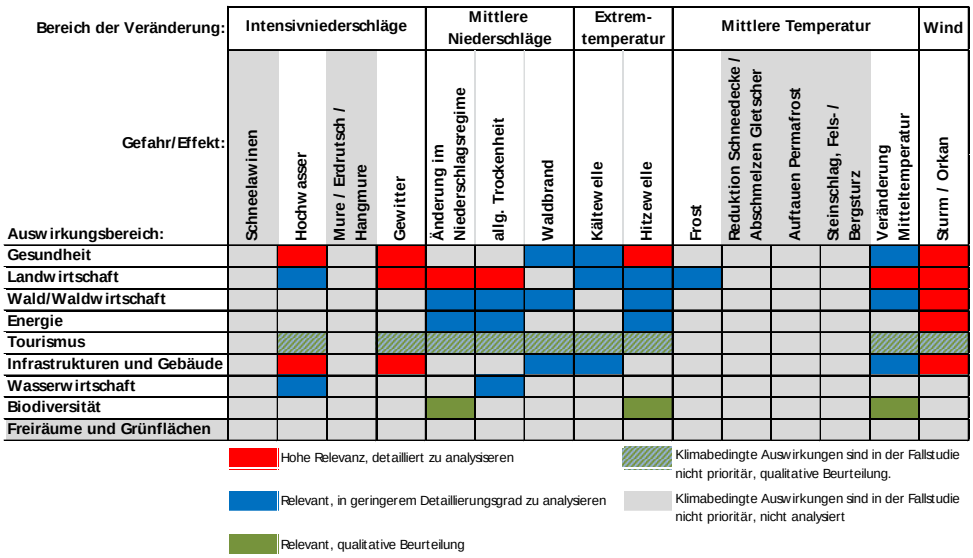


Abbildung 5
Matrix zur Darstellung des Fokus der Fallstudie

Je nach Bedeutung und möglichen Synergien wurde die Bearbeitungstiefe bestimmt.

Im Folgenden werden die Risiken und Chancen des Klimawandels pro Auswirkungsbereich dargestellt. In 4.1 sind die Ergebnisse im Vergleich zwischen den Auswirkungsbereichen dargestellt. Detailliertere Darstellungen der Analyse pro Auswirkungsbereich sind im Anhang ersichtlich (separates Dokument).

3.2 Gesundheit

3.2.1 Wichtige Kenngrössen

Im Kanton Aargau leben rund 612'000 Personen. Bei der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit der Aargauer Bevölkerung werden die physische und psychische Gesundheit, die Kosten im Zusammenhang mit Behandlung und Pflege sowie die klimabedingte Änderung der Leistungsfähigkeit der arbeitenden Bevölkerung betrachtet.

3.2.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Die nachfolgende Tabelle fasst die Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Gesundheit der Aargauer Bevölkerung zusammen.

Tabelle 2: Übersicht über die quantitativ und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Hitzewelle	• Vorzeitige Todesopfer durch Herz-Kreislaufprobleme, Hitzeschlag, Dehydrierung, Hyperthermie und ozonbedingter Atemwegserkrankungen • Hitzebetroffene • Geringere Leistungsfähigkeit: Rückgang der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung	• Zusätzlicher Pflegeaufwand
Veränderung Mittel-temperatur	• Todesopfer und Verletzte im Strassenverkehr aufgrund von Schnee und Eis • Pollen-Betroffene: Die verlängerte Pollensaison beeinträchtigt viele Allergiker über eine zunehmende Zeitdauer.	• Todesopfer und Verletzte bei Freizeitunfällen aufgrund von Schnee/ Eis • Über Lebensmittel und Wasser übertragene Infektionskrankheiten können sich bei höheren Temperaturen besser entwickeln (z.B. Salmonellen). • Vektorübertragene Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier • Neue allergene Pflanzenarten könnten einwandern, beispielsweise aus dem Mittelmeerraum (Zypresse, Glaskraut, evtl. Olive). Die neuen allergenen Arten können die Dauer des Auftretens von Allergiesymptomen verlängern oder auch bei zusätzlichen Personen zu Allergien führen. • Bei den Zecken wird eine Ausbreitung erwartet, bei der Zeckenenzephalitis hingegen ein Rückgang aufgrund der Wärmeempfindlichkeit der Viren.

Hochwasser	• Todesopfer	• Verletzte
Gewitter	• Todesopfer	• Verletzte
Sturm / Orkan	• Todesopfer	• Verletzte

Wildcard: neue Krankheiten

Möglicherweise sind noch nicht alle Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit der Bevölkerung be- und erkannt.

Im Rahmen dieser Analyse nicht abgeschätzt, ist die Möglichkeit des Auftretens neuer, bisher unbekannter Krankheiten, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel entstehen und/oder verbreitet werden. Insbesondere vektorübertragene Krankheiten verbreiten sich entlang der Verkehrs-/ Mobilitätsachsen in den Aargau und sind da aufgrund der höheren Temperaturen überlebensfähig.

Grosse Unsicherheiten

Der Einfluss des Klimawandels auf die Gesundheit ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Sozioökonomische, demographische, technische (z.B. klimatisierte Räume) und politische Faktoren beeinflussen die Exposition, Anfälligkeit und Anpassungsfähigkeit der einzelnen Menschen. Inwieweit sich der Mensch an die Klimaänderungen (insbesondere die veränderte Mitteltemperatur) anpassen kann, ist weitgehend unbekannt. Die Unsicherheit der Effekte des Klimawandels ist im Bereich Gesundheit auch deshalb besonders gross, da die Datenlage zu den Auswirkungen von Klimaparametern auf die Gesundheit ausgesprochen spärlich ist.

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Indikatoren

Im Auswirkungsbereich Gesundheit werden folgende Indikatoren zur Quantifizierung des Einflusses des Klimawandels auf die Gesundheit der Aargauer Bevölkerung näher betrachtet:

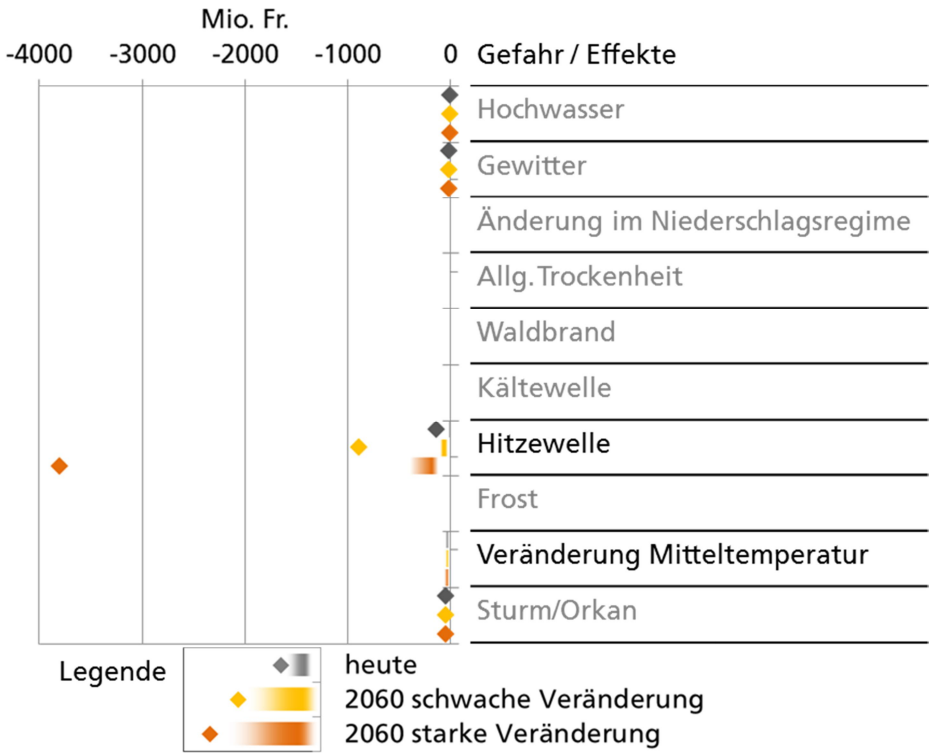
- Hitzebetroffene: Anzahl Personen-Hitzetage, Anzahl Hitzetage/Tropennächte (max. Temperatur >30°C /min. Temperatur >20°C) multipliziert mit der Anzahl von Hitzetagen/Tropennächten betroffener Personen
- Verletzte und Erkrankte: Anzahl Verletzungs- oder Krankheitsfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden.
- Todesopfer: Anzahl Todesfälle, die vollständig oder massgeblich durch die entsprechende Gefahr oder Entwicklung hervorgerufen werden.
- Mindererträge in Fr.: Mindererträge, die infolge der Verringerung der Leistungsfähigkeit der arbeitenden Bevölkerung anfallen.

Hitzewellen und veränderte Mitteltemperatur

Die quantitativen Ergebnisse sind in Abbildung 6 zusammengefasst. Die durchgeführte Analyse zeigt, dass sich der Klimawandel im Kanton Aargau insbesondere durch vermehrtes und stärkeres Auftreten von Hitze-

wellen sowie der höheren Mitteltemperatur auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken wird.

Abbildung 6
Erwartete mittlere Auswirkungen der klimabedingten Auswirkungen auf die Gesundheit (Erwartungswert=Balken; Farbintensität wiederspiegelt 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.

Hitzewellen

Häufiger Hitzewellen

Hitzewellen werden mit dem Klimawandel häufiger auftreten und es wird ausgeprägtere Hitzewellen geben. Die Intensität von 100-jährlichen Ereignissen wird bei einer Erwärmung um >3°C im Szenario „2060 – stark" markant zunehmen und auch die mittleren jährlichen Auswirkungen durch Hitze werden bedeutend höher sein als heute. Schon heute stellen Hitzewellen für viele Personen wesentliche Beeinträchtigungen im Wohlbefinden dar (sog. Hitzebetroffene). Nicht alle Personen in einem von

einer Hitzewelle betroffenem Gebiet sind gleich stark beeinträchtigt. Zuzüglich regionaler Unterschiede wird geschätzt, dass etwa die Hälfte der Bevölkerung bei einer Hitzewelle in ihrem Gesundheitszustand oder in ihrem Wohlbefinden eingeschränkt ist. Ausserdem wird in einer groben Annahme davon ausgegangen dass im Mittel nur jeder zweite Hitzetag zu „Hitzebetroffenen" führt. Grund dafür ist, dass das Hitzeempfinden auch von der Luftfeuchte, von Windaktivität und davon abhängt, ob mehrere Hitzetage aufeinander folgen. Daraus ergibt sich für heute einen Erwartungswert von rund 150'000 Personentage[1)] pro Jahr im Kanton Aargau, die mit je 50.- Fr monetarisiert werden.

Nach den Hitzebetroffenen stellen die hitzebedingten Todesopfer den zweitgrössten Beitrag zu den monetarisierten Auswirkungen im Bereich Gesundheit. Die Sterblichkeit steigt während einer Hitzewelle markant an. Betroffen sind besonders ältere und pflegebedürftige Menschen in Städten, die Probleme mit dem Herz-Kreislauf kriegen, an Hitzeschlag, Dehydrierung oder Hyperthermie leiden oder gar sterben. Hinzu kommen oft Atemwegserkrankungen aufgrund hoher Ozonkonzentration.

Referenzszenario Hitzesommer 2003

Im Hitzesommer 2003, als im Juli und August die Temperatur rund 3°C über dem langjährigen Mittel lag, wurden in der Schweiz 1039 zusätzliche hitzebedingte Todesopfer verzeichnet (Robine et al. 2007). Da das Zentrum der Hitzewelle über den Jurabogen nördlich des Kantons Aargau hinweg zog, war die Aargauer Bevölkerung im Vergleich zu Genf und Basel, wo die meisten Hitzetoten verzeichnet wurden, weniger stark betroffen. Bei den heutigen klimatischen Bedingungen wird der Hitzesommer 2003 als ein über 1000-jährliches Ereignis eingestuft (Schätzung Experten). 2060 steigt die geschätzte Häufigkeit, bei der schwachen Veränderung auf ein 100-jährliches Ereignis, bei der starken Veränderung reduziert sich die Jährlichkeit gar auf 15 (Schätzung Experten).

Ansteigende Mitteltemperatur

Verlängerte Pollensaison

Mit steigender Mitteltemperatur verlängert sich die Gesamtdauer der Pollensaison, mit entsprechenden Auswirkungen für Allergiker. Birken und Eschen blühen beispielsweise bereits heute rund 2-3 Wochen früher als noch vor 20 Jahren (Schätzung Experten). Gemäss den Expertenschätzungen könnte sich die Pollensaison bis 2060 (je nach Szenario schwache oder starke Veränderung) um einen bis drei Monate verlängern.

Anzahl Allergiker im Kanton Aargau

Die Gesundheitsexperten gehen davon aus, dass heute ca. 7% der Erwachsenen an Asthma leiden und ca. 15% der Erwachsenen (10% der

1) E[X] = 0.5 * 612'000 Personen * 0.5 * (1 + 2/52/10 + 1/12/100 + 2/12/1000) = 153'741 Personentage pro Jahr

Kinder) auf Pollen allergisch reagieren. Das Maximum an Pollenallergie findet man in der Altersgruppe 15-35-jährige, im höheren Alter nimmt die Prävalenz wieder ab. Für den Kanton Aargau wird die Zahl der Allergiker (inkl. Asthmatiker) auf rund 100'000 geschätzt.

Weniger Verkehrsopfer im Winter

Aufgrund der höheren Temperaturen wird es im Aargau seltener vereiste und verschneite Strassenzustände geben, weshalb mit einer verringerten Anzahl Todesopfer und Verletzte im Strassenverkehr gerechnet werden kann. Die monetarisierte Bilanz des Effekts „Veränderung Mitteltemperatur" wird entsprechend durch den positiven Einfluss wärmerer Winter und den negativen Einfluss der erhöhten Pollenbelastung auf Allergiker geprägt.

Naturgefahren

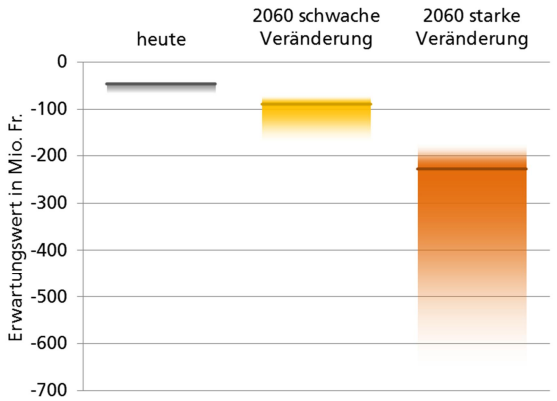
Vergleichbar geringe Schäden und Verluste aufgrund von Naturgefahren

Im Vergleich zu den Auswirkungen der veränderten Mitteltemperatur und von Hitzewellen sind Schäden und Verluste aufgrund von Hochwasser und Gewitter vernachlässigbar. Dies gilt insbesondere für die Erwartungswerte; die Kosten eines 100-jährlichen Sturms im Gesundheitsbereich (Tote und Verletzte) sind vergleichbar mit den monetarisierten Auswirkungen des Anstiegs der Mitteltemperatur.

Übersicht

Die über alle Gefahren und Effekte kumulierten mittleren jährlichen Kosten werden auf 45 Mio. Fr. heute, 89 Mio. Fr. im Jahr 2060 mit dem schwach veränderten Klima und 228 Mio. Fr. mit dem stark veränderten Klima geschätzt (Abbildung 7). Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Ergebnisse nicht direkt mit ökonomischen Studien zur Krankheitslast und Todesfällen im Gesundheitswesen verglichen werden können, da diese meist andere methodische Ansätze verfolgen.

Abbildung 7
Erwartungswert mit Unsicherheitsbalken der durch den Klimawandel generierten, monetarisierten Auswirkungenauf die Gesundheit der Bevölkerung des Kantons Aargau



Lesehilfe

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.

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 Auswirkungsbereich 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 70 Mio. Fr. und etwa 170 Mio. Fr. liegen. Mittlere Auswirkungen an einem der Ränder dieser Spannweite sind jedoch sehr unwahrscheinlich.

Grosse Unschärfen

Die Unschärfen bei der künftigen Entwicklung im Auswirkungsbereich Gesundheit sind beachtlich. Folgende Hauptkomponenten müssen in diesem Zusammenhang betrachtet werden:

- Geringe Datenmenge zu den Auswirkungen von Extremereignissen (z.B. Hitzesommer 2003) und Effekten (z.B. steigende Mitteltemperatur), fehlende kantonsspezifische Informationen
- Unsicherheiten bei den Schätzungen der Jährlichkeiten von Referenzereignissen
- Anpassungsleistung des menschlichen Organismus an veränderte Mitteltemperaturen und entsprechend höhere Hitzeresistenz auch bei Extremereignissen

3.2.3 Beurteilung

Starke Auswirkungen auf die Gesundheit

Hitzewellen und die zunehmende Temperatur werden die Gesundheit der Aargauer Bevölkerung stark beeinträchtigen. Im Vergleich zu den anderen Auswirkungsbereichen sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit vergleichsweise gross. Aber auch die Unschärfen bei der Abschätzung sind beträchtlich.

Bedeutung nicht-quantifizierter Auswirkungen: geringer

Die Belastbarkeit der Schätzungen ist aus den obengenannten Gründen schwierig abzuschätzen. Die Unschärfen der nicht-quantifizierten Effekte (Übertragung von Infektionskrankheiten durch Lebensmittel oder Vektoren, neue allergene Pflanzenarten, zusätzlicher Pflegeaufwand während Hitzewellen etc.) sind ebenfalls sehr gross. Insgesamt wird der Einfluss der nicht-quantifizierten Effekte allerdings als maximal einen Drittel des Einflusses der quantifizierten Gefahren und Effekte geschätzt.

3.3 Landwirtschaft

3.3.1 Wichtige Kenngrössen

43% landwirtschaftliche Nutzflächen

Von der Fläche des Kantons entfallen rund 43% auf landwirtschaftliche Nutzflächen, wovon die Hälfte als Grünland genutzt wird und rund 40% als Ackerbaufläche (Getreide, Mais, Kartoffeln, Zucker- und Futterrüben sowie Ölsaaten). Die übrige landwirtschaftlich genutzte Fläche wird mit Gemüseanbau, Dauerkulturen (Obstanlagen, Reben, Beeren) und übrigen Kulturen genutzt. Seit 2000 hat die landwirtschaftliche Nutzfläche um rund 2% abgenommen (LWAG, 2012).

Anzahl Personen und Betriebe rückläufig

Der gesamte landwirtschaftliche Produktionswert beträgt für den Zeitraum 1999 bis 2011 im Mittel rund 650 Mio. Fr. pro Jahr. Davon entfallen rund 45% auf pflanzliche Produktion, rund 46% auf tierische Produktion, rund 7% auf landwirtschaftliche Dienstleistungen und etwa 2% auf nichtlandwirtschaftliche Nebendienstleistungen. Die Anzahl in der Landwirtschaft beschäftigten Personen und die Anzahl der Betriebe ist rückläufig, während die Nutzfläche pro Betrieb zunehmend ist (LWAG, 2012).

3.3.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen einer Veränderung der klimabeeinflussten Gefahren und Effekte auf die Landwirtschaft sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Hochwasser	• Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen dargestellt als Entschädigung der Hagelversicherung.	• Düngewirkung durch Schwebstoffe
Gewitter/Hagel	• Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen dargestellt als Entschädigung der Hagelversicherung.	
Änderung Niederschlagsregime	• Mehr-/Mindererträge der pflanzlichen und tierischen Produktion im Verhältnis zum heutigen Produktionswert.	• Folgen anderer Niederschlagsverteilungen zwischen den Monaten als in Klimaszenarien angegeben. Verteilung spielt bedeutende Rolle für den jährlichen Produktionswert.
Allgemeine Trockenheit		• Änderungen in Bezug auf Trockenheit sind unter „Änderung Niederschlagsregime“ subsummiert.
Kältewelle		• Schäden durch Kältewellen speziell im Winter (Dezember bis Feb-

		ruar) z.B. auf Rebstöcke (spielt hinsichtlich Klimaänderung untergeordnete Rolle).
Hitzewelle		• Einfluss von Hitzewellen auf den Produktionswert einzelner Kulturen. Hitzewellen sind meist auch mit Trockenheit kombiniert, so dass eine eindeutige Zuordnung zur Gefahr ‚Hitzewelle' kaum möglich ist. • Hitzewellen können sich im Sinne von Hitzestress auch auf Tiere auswirken.
Frost		• Einfluss von Frosttagen speziell im Frühjahr/Frühsommer auf Produktionswert. Einwirkung einzelner Frosttage können jedoch nicht quantitativ belegt werden.
Änderung Mitteltemperatur	• Mehr-/Mindererträge der pflanzlichen und tierischen Produktion im Verhältnis zum heutigen Produktionswert.	

Neben diesen erwarteten Auswirkungen nimmt mit dem Klimawandel auch die Wahrscheinlichkeit von Situationen mit noch viel schwerwiegenderen Auswirkungen als den hier angenommenen zu (sog. Wildcards). Denkbar sind beispielsweise folgende Situationen:

Neue Pflanzenschädlinge

- Eingeschleppte Pflanzenschädlinge bedingt durch globalen Personen- und Warentransport können sich negativ auf einheimische Kulturen auswirken.

Häufung von trockenen und heissen Sommern

- Eine Häufung von aussergewöhnlich trockenen und heissen Sommern mit kritischen Ernteausfällen kann viele Landwirte zur Betriebsaufgabe zwingen.

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

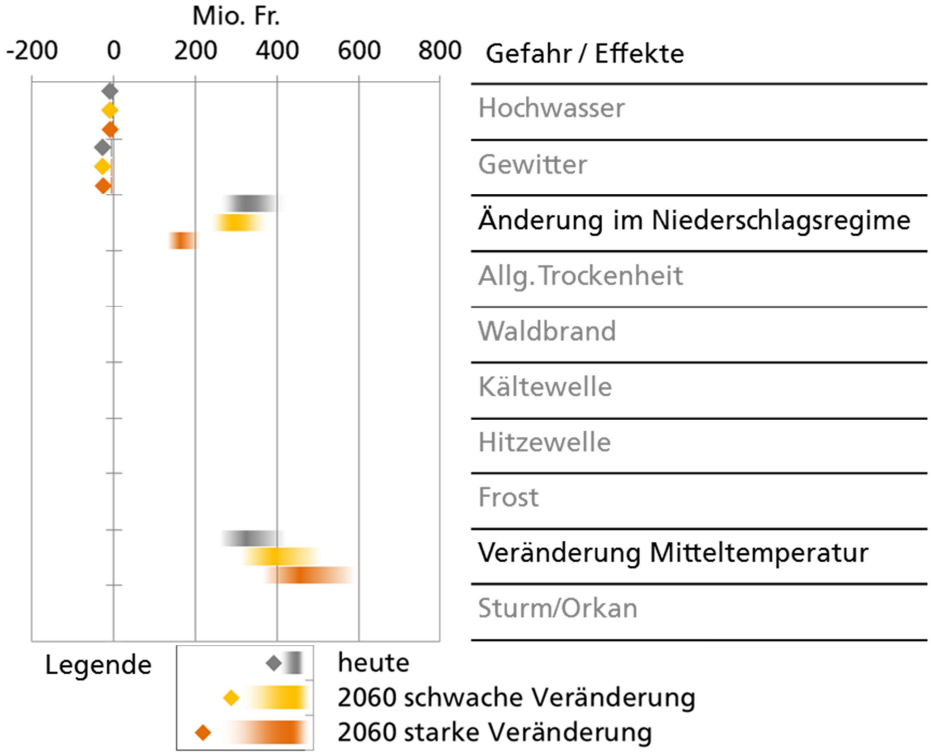
Im Auswirkungsbereich Landwirtschaft wurden folgende Indikatoren zur Quantifizierung des Einflusses des Klimawandels herangezogen:

- Mehrerträge/Minderaufwendungen (z. B. durch häufigere Ernten)
- Mindererträge/Mehraufwendungen (z. B. durch geringere Erlöse bei Trockenperioden)
- Vermögensschäden und Bewältigungskosten (z. B. für Behebung von Unwetterschäden)

Niederschlagsregime und Mitteltemperatur

Die grössten Effekte sind durch die Veränderung des Niederschlagsregimes und die Erhöhung der Mitteltemperatur zu erwarten (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8
Heutige und mittlere erwartete klimabedingten Auswirkungen auf die Landwirtschaft (Balken; Farbintensität wiederspiegelt die Unsicherheit) und Ausmass eines 100-jährlichen Ereignisses (Rauten). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



Veränderte Mitteltemperatur

Für die landwirtschaftlichen Erträge spielen Temperatur und Niederschläge eng zusammen, wobei die Reaktion der verschiedenen Kulturen sehr unterschiedlich sein kann. Wenn bei gleichbleibenden Niederschlägen und ausreichender Wasserversorgung von gemässigt höheren Temperaturen ausgegangen wird, dann erlaubt die längere Vegetationsperiode bei verschiedenen Kulturen höhere Erträge. Ebenso wirkt sich eine mässig höhere Temperatur bei Wärme liebenden Arten günstig auf den Ertrag aus (UBA, 2013).

Veränderung des Niederschlagsregimes

Bei gleichbleibender Temperatur kann davon ausgegangen werden, dass im Mittel abnehmende Niederschläge im Sommer ohne zusätzliche Anpassungsmassnahmen zu einer Verringerung des Pflanzenwachstums führen und dadurch die Erträge abnehmen werden.

Komplexe Zusammenhänge Temperatur und Niederschläge

Die Zusammenhänge zwischen Temperatur- und Niederschlagsbedingungen und ihr Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion sind komplex und lassen sich ohne Einbezug fundierter Modellrechnungen daher nicht zuverlässig quantifizieren. Bestimmte Kombinationen von Temperatur und Niederschlag (z. B. hohe Mitteltemperatur und niedriger Jahresniederschlag) und ihre Verteilung über das Jahr (z. B. warmer/feuchter oder kühler/trockener Mai/Juni) wirken sich auf die verschiedenen land-

wirtschaftlichen Kulturen unterschiedlich aus. Hinzu kommt, dass auch die luftchemischen Eigenschaften (z. B. Gehalt an CO_2, O_3, NO_x, NH_y) einen Einfluss auf die Produktivität haben (Wenkel et al., 2011; Finger et al., 2010).

Weitere Einflüsse

Einfluss CO_2

Für die Grünlandwirtschaft haben z. B. Untersuchungen aus der Schweiz ergeben, dass sich Ertragszunahmen nur bei Einbezug der Wirkung von erhöhter CO_2 Konzentration ergeben. Ohne Einbezug von CO_2 wäre eher mit geringeren Erträgen zu rechnen (Finger et al., 2010). Ob diese Erkenntnisse sich quantitativ vollumfänglich auch auf den Kanton Aargau übertragen lassen, kann gegenwärtig nicht beantwortet werden.

Zunehmende Hochwasserschäden

Hochwasser können Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen, Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen verursachen, wobei letztere im Auswirkungsbereich „Gebäude und Infrastruktur" behandelt werden. In beiden Klimaszenarien kann von einer leichten Zunahme der Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen infolge häufigerer Hochwasserereignisse ausgegangen werden.

Hagel

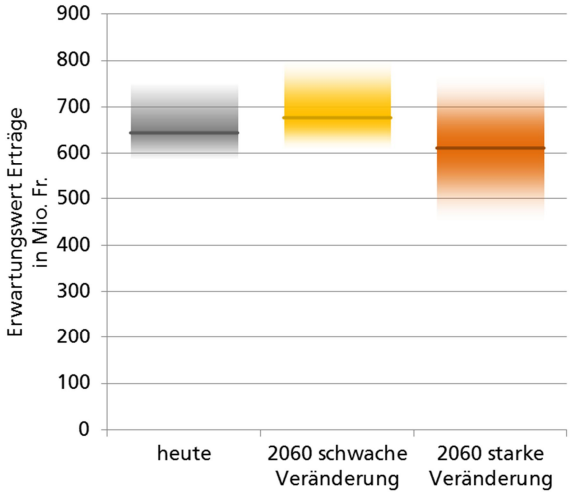
Hagelereignisse führen auch im Aargau regelmässig zu Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen. Da derzeit keine belastbaren Aussagen zur Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Gewittern mit Hagelschlag möglich sind (vgl. 2.2.1), wurde hier keine Änderung der Risiken angenommen. Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass sich die Bedeutung von Hagelschlag für die Summe der landwirtschaftlichen Erträge auch bei einer Zu- oder Abnahme der Hagelschäden um 50% nicht wesentlich verändert. Dominiert werden die erwarteten Ertragsveränderungen durch die Veränderung von Temperatur und Niederschlag

Übersicht

Abnahmen im Niederschlag dürften tendenziell eine Abnahme der Erträge zur Folge haben, während eine Temperaturzunahme im Mittel über alle Kulturen leichte Zunahmen bedeuten können (UBA, 2013)

Unter Berücksichtigung aller Gefahren und Effekte ergibt die Abschätzung, dass die analysierten Erträge von rund 650 Mio. Fr. heute mit dem schwach veränderten Klima auf rund 675 Mio. Fr. im Jahr 2060 zunehmen werden und mit dem stark veränderten Klima aufgrund abnehmender Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode auf rund 610 Mio. Fr. abnehmen (Abbildung 7).

Abbildung 9
Erwartungswert mit Unsicherheitsbalken der durch den Klimawandel generierten Kosten an der Landwirtschaft des Kantons Aargau. Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



3.3.3 Beurteilung

Keine belastbaren Aussagen ohne Modell, das die komplexen Zusammenhänge modelliert

Ohne ein Modell, welches die komplexen Zusammenhänge zwischen Verteilung und Grösse der Klimagrössen im Jahr und den Anforderungen der jeweiligen landwirtschaftlichen Kulturen bezüglich Wärme und Wasserbedarf abbildet, können im Rahmen dieses Projekts keine belastbaren Aussagen gemacht werden. Daher zeigen hier vorgenommene Quantifizierungen (Abbildung 8 und Abbildung 9) nur grobe Richtungen auf und müssen äusserst vorsichtig interpretiert werden.

Uneinheitliche Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Landwirtschaft sind zudem uneinheitlich: Aufgrund der berücksichtigten Parameter ergeben sich im Mittel für das Klimaszenario „2060 – schwach“ positive Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge während im Mittel für das Szenario „2060 – stark“ deutlich negative Auswirkungen resultieren.

Quant. Auswirkungen im Vergleich mit anderen AWB eher gering

Die quantifizierten Auswirkungen im Auswirkungsbereich Landwirtschaft scheinen im Vergleich den Auswirkungsbereichen Gesundheit und Energie vergleichsweise gering. Sie sind aber gemessen an der Tragfähigkeit des Sektors zu beurteilen.

Wildcard: neue Schädlinge in Pflanzen- und Tierproduktion

Neben diesen erwarteten Auswirkungen des Klimawandels sind weitere möglich, die vielleicht nicht sehr wahrscheinlich sind, die jedoch gravierende Auswirkungen haben können. Zu diesen Wildcards gehören z. B. Auswirkungen von eingeschleppten Schädlingen auf die Pflanzen- und Tierproduktion.

3.4 Wald/Waldwirtschaft

3.4.1 Wichtige Kenngrössen

Wald

Rund 35% des Kantons Aargau sind mit Wald bedeckt. Die Waldfläche betrug 2010 rund 49'000 Hektaren. Davon sind rund 20% Nadelwald, 25% Nadelmischwald, 30% Laubmischwald, 17% Laubwald und 8% sonstiger Wald. 78% des Waldes sind in öffentlicher Hand (v.a. Gemeinden), 22% sind Privatwald. 4 % der Waldfläche sind als Naturwaldreservate oder Altholzinseln vertraglich gesichert (AGDFR 2010 a, AGDFR 2010 b, Regierungsrat AG 2009).

Waldwirtschaft

In den 116 Forstbetrieben mit 526 Beschäftigten werden jährlich 60.8 Mio. Fr erwirtschaftet, davon 7.8 Mio. Fr für öffentliche Leistungen (Bundesamt für Statistik 2010).

3.4.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen der klimabeeinflussten Gefahren und Effekte auf Wald und Waldwirtschaft sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3
Übersicht über die quantitativ und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Hitzewelle	keine	• Phytotoxischer Stress durch hohe Ozonkonzentrationen in der Luft • Absterben von Pflanzenteilen durch Überhitzung (auch Rindenbrand)
Allg. Trockenheit	• Schadholzanfall durch Vertrocknen • Zwangsnutzungen infolge von Insektenkalamitäten	• Erhöhte Waldbrandgefahr • Absterben von Jungpflanzen
Waldbrand	keine	• Wirtschaftliche Schäden durch Holzverlust und Verjüngungskosten • Störungsflächen mit Einfluss auf: Nitratbelastung des Grundwassers, Erosion, Erholungsleistung, Senken- und Speicherfunktion von CO_2, Biodiversität im Wald, Sekundärschäden
Zunahme der Mitteltemperatur	• Zunahme im Holzzuwachs aufgrund verlängerter Vegetationsperiode und höherer Mitteltemperatur • Erhöhte Evapotranspiration: Abnahme im Holzzuwachs infolge limitierter Wasserverfügbarkeit	• Zunehmende Waldschäden durch zum Teil höhere Reproduktionsrate von Schadinsekten (Bsp. Borkenkäfer) • Höhere mittlere Temperaturen im Winter: höhere Empfindlichkeit der Böden auf Befahren bei Holzernte

Änderung im Niederschlagsregime	• Schadholzanfall durch Vertrocknen • Zwangsnutzungen infolge Insektenkalamitäten	• Abnahme im Holzzuwachs bei regelmässigem Trockenstress, siehe Zunahme der Mitteltemperatur
Sturm / Orkan	• Wirtschaftliche Schäden durch Sturm- und Käferholz	• Störungsflächen, siehe Waldbrand

Wildcards:

Neben diesen erwarteten Auswirkungen nimmt mit dem Klimawandel auch die Wahrscheinlichkeit von Situationen mit schwerwiegenderen Auswirkungen als den hier angenommenen zu (sog. Wildcards). Ihr Eintreffen könnte zu deutlich drastischeren Änderungen für den Wald und die Waldwirtschaft im Kanton Aargau führen. Denkbar sind beispielsweise folgende Situationen:

Neue Baumkrankheiten

- Auftreten von neuen Schadorganismen (Pilze, Insekten etc.) oder zunehmender Pathogenität, die zu massiven Schäden im Wald führen. Sollte eine neue Baumkrankheit zu verbreiteten Schäden an der Buche führen, so hätte dies drastische Auswirkungen auf den Wald. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel solche Entwicklungen fördert, wobei der Beitrag je nach Organismus variieren dürfte.

Problematische Abfolge, z.B. von Stürmen, Trockenheiten und Hitzewellen

- Problematische Abfolgen verschiedener Gefahren bzw. Effekte, z. B. Sturmwurf, Trockenheit mit anschliessender Hitzewelle und Waldbränden, können zu schwerwiegenden Folgen für den Wald führen.

Folge von Trockenjahren

- Eine Folge mehrerer trockener Jahre mit heissen Sommern kann die Regenerationsfähigkeit der Wälder übersteigen, so dass grossflächige Schäden entstehen.

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Indikatoren

Für die quantitative Analyse der Auswirkungen wurden folgende Indikatoren verwendet:

- Erträge (hier v. a. erntekostenfreie Holzerlöse)
- Aufwendungen (z. B. durch Kosten für Käferbekämpfung)
- Vermögensschäden (z. B. Sturmschäden am Waldbestand)

Anpassung der Baumartenverteilung bereits berücksichtigt, sonst wären Folgen deutlich gravierender

Bei der Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels im Jahr 2060 wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Verteilung der Baumarten im Rahmen der normalen Bewirtschaftung bereits an die sich verändernden Klimabedingungen angepasst wird. Um einen solchen Baumartenwechsel hin zu Baumarten mit grösserer Wärme- und Trockenheits-Toleranz (z. B. Eichen) hervorzurufen, sind zusätzliche Investitionen bei der Waldverjüngung notwendig. Da es sich dabei nicht um Risiken im

eigentlichen Sinn handelt, werden sie hier nicht berücksichtigt. Wenn diese klimaangepasste Verjüngung der Wälder nicht berücksichtigt würde, wären die Klimafolgen vor allem beim Klimaszenario „starke Veränderung“ deutlich gravierender.

Temperatur- und Niederschlagsänderungen führen zu verändertem Holzwachstum

Hinsichtlich der Erträge ist ein verändertes Holzwachstum die wichtigste Auswirkung des Klimawandels. Tendenziell wird für die verwendeten Klimaszenarien im Kanton Aargau bei den meisten Baumarten von zunehmenden Zuwächsen ausgegangen. Beim Szenario „2060 - stark“ werden diese Zunahmen durch trockene Sommer zumindest teilweise wieder neutralisiert. Die Zuwachsveränderung lässt sich nicht klar auf die untersuchten Gefahren und Effekte aufteilen, sondern ergibt sich aus einer Kombination von höheren mittleren Temperaturen, einem veränderten Niederschlagsregime sowie Trockenperioden und Hitzewellen. Hier wird das veränderte Holzwachstum stellvertretend der Zunahme der Mitteltemperatur zugeordnet (siehe Abbildung 10).

Stürme mit schwereren Folgeschäden erwartet

Stürme und Orkane werden in Zukunft schwerwiegendere Folgen im Wald haben. Bei gleichbleibender Häufigkeit und Intensität der Stürme (vgl. 2.2.1) muss infolge der höheren Temperaturen mit rascheren Entwicklungen von Borkenkäferkalamitäten und somit grösseren Folgeschäden gerechnet werden. In Abbildung 10 zeigt die Raute, in welcher Grössenordnung die wirtschaftlichen Schäden eines ca. 100-jährlichen Sturmereignisses liegen.

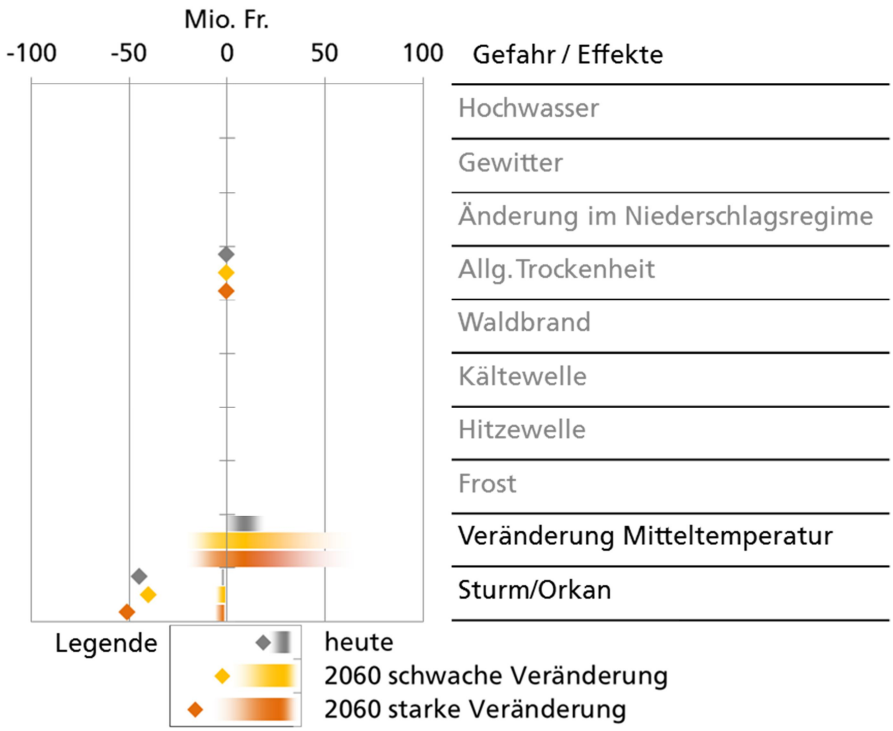


Abbildung 10
Erwartete Erträge bzw. Sturmschäden für die heutige Situation (graue Balken) und die Klimaszenarien „schwache Veränderung“ (gelb) und „starke Veränderung“ (rot). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.

Zentrale Annahmen:

Folgende wesentliche Annahmen sind für die Interpretation der Ergebnisse zentral:

Naturverjüngung

- Es wird davon ausgegangen, dass nach Waldschäden im Aargauer Wald in der Regel eine natürliche Waldverjüngung möglich ist. Wenn in grösserem Umfang Pflanzungen notwendig werden sollten, würde dies zu deutlich höheren Kosten und negativeren Ergebnissen führen.

Gleichbleibender erntekostenfreier Holzerlös

- Die Ergebnisse gelten für einen gleichbleibenden Netto-Holzerlös (nach Abzug der Erntekosten) in Höhe von 20 Fr./m^3. Eine Veränderung hätte wesentliche Auswirkungen auf die dargestellten Ergebnisse.

Im Mittel keine wesentliche Veränderung

Unschärfen in Annahmen sind erheblich

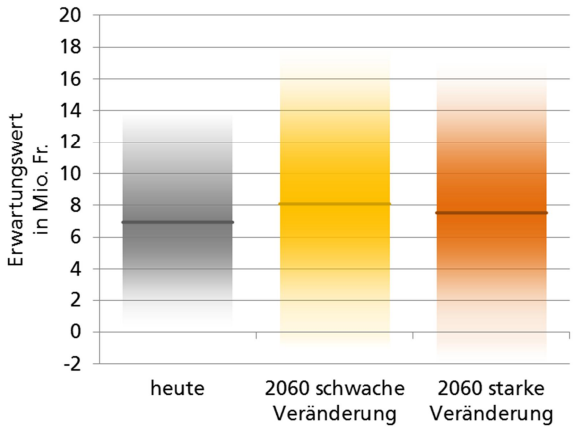
Im Mittel über die betrachteten Gefahren und Effekte zeigen die Klimaeinflüsse keine wesentliche Veränderung der gesamten erwarteten erntekostenfreien Erlöse in der Aargauer Waldwirtschaft (vgl. Abbildung 11). Die Unschärfen in den getroffenen Annahmen sind jedoch so gross, dass auch deutlich grössere Auswirkungen nicht ausgeschlossen werden können. Dies ist in den Unschärfebereichen in Abbildung 11 dargestellt.

Die Unschärfen beziehen sich vor allem auf folgende Auswirkungen der Klimaszenarien:

- die Veränderung der Zuwächse für die unterschiedlichen Baumarten,
- die Abschätzung der künftigen Schadholzmengen durch Trockenheit, Sturm und Borkenkäfer.

Aggregiert betrachtet ergeben sich für die Waldwirtschaft die in Abbildung 11 dargestellten Auswirkungen.

Abbildung 11
Erwartungswert für die hier analysierten Effekte in der Waldwirtschaft heute (grauer Balken) und 2060 bei schwacher Veränderung (gelb) und bei starker Veränderung (rot). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



3.4.3 Beurteilung

Insgesamt bedeutende Auswirkungen

Gesamthaft werden für die Waldwirtschaft und die Ökosystemleistungen des Waldes bedeutende Auswirkungen erwartet. Aufgrund der berück-

sichtigten Parameter ergeben sich im Mittel zwar leicht positive wirtschaftliche Effekte, dabei wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Anpassung der Baumartenverteilung im Mittelland im Rahmen der normalen Bewirtschaftung vorgenommen wird. Um einen solchen Baumartenwechsel hin zu Baumarten mit grösserer Wärme- und Trockenheits-Toleranz (z. B. Eichen) hervorzurufen, wären erhebliche Investitionen bei der Waldverjüngung notwendig. Diese sind hier jedoch nicht berücksichtigt, da es sich nicht um einen Effekt des Klimawandels, sondern um die Kosten einer Anpassungsmassnahme handelt. Neben den quantitativ analysierten wirtschaftlichen Auswirkungen muss mit Einschränkungen der Ökosystemleistungen des Waldes gerechnet werden, z. B. bei Trinkwasserfilterung, Erholungsnutzung und CO_2-Speicherung.

Quant. Auswirkungen im Vergleich mit anderen AWB eher gering

Hoher Einfluss des erntekostenfreien Ertrags

Die quantifizierten Auswirkungen im Auswirkungsbereich Wald/Waldwirt-schaft scheinen im Vergleich mit anderen Auswirkungsbereichen vergleichsweise gering. Sie sind aber gemessen an der Tragfähigkeit des Sektors zu beurteilen, insbesondere im Fall von Ereignissen und den damit verbundenen Bewältigungskosten. Zentrale Parameter der Abschätzung sind die Holzpreise und die Erntekosten. Die hier dargestellten Ergebnisse gehen von einem gleichbleibenden erntekostenfreien Holzerlös von im Mittel 10 Fr./m^2 aus. Eine Variation wurde im Rahmen des sozioökonomischen und demographischen Szenarios vorgenommen (vgl. Ergebnisse im Anhang).

Bedeutung nicht quantifizierter Auswirkungen: vergleichbar mit negativen Folgen

In Jahrzehnten nach 2060 schwerere Folgen zu erwarten

Mit den quantitativ analysierten Folgen sind die wesentlichen zu erwartenden wirtschaftlichen Auswirkungen für die Waldwirtschaft erfasst. Volkswirtschaftliche Auswirkungen auf den Wald und dessen Ökosystemleistungen, wie z. B. die Erholungsleistung des Waldes oder die CO_2-Senken- und Speicherfunktion, sind schwer abzuschätzen. Für den Kanton Aargau wird die Bedeutung der nicht quantitativ analysierten Auswirkungen bis 2060 als grösser als die quantifizierten Auswirkungen eingeschätzt. Es muss davon ausgegangen werden, dass in den folgenden Jahrzehnten schwerwiegendere Folgen auftreten.

3.5 Energie

3.5.1 Wichtige Kenngrössen

Grossteil der produzierten Energie entfällt auf Wasserkraft und Kernkraft

Der Grossteil der im Kanton Aargau produzierten Energie entfällt auf Hydroelektrizität und Kernenergie. Für diese beiden Energieformen betrug die Jahresproduktion im Jahr 2011 17'900 GWh (Statistik Aargau[2)]). Auf die Flusskraftwerke entfällt ein Anteil von ca. 15%; der Rest wird in den drei Kernkraftwerken Leibstadt, Beznau I und Beznau II produziert. Auf erneuerbare Energien (Sonne, Holz, Biomasse, Wind, Geothermie und Umgebungswärme) entfallen derzeit lediglich einige Prozent der gesamten Energieproduktion (schweizweit ca. 7%).

Verteilung des Energieverbrauchs auf Energieträger

Im gleichen Zeitraum wurde im Kanton Aargau eine Energiemenge von 15'800 GWh verbraucht. Der Anteil auf die verschiedenen Energieträger ist dabei wie folgt: 31% Elektrizität, 16% Erdgas, 20% flüssige fossile Brennstoffe (primär Heizöl) und 33% flüssige fossile Treibstoffe (Benzin, Diesel – Flugpetrol ist hier nicht erfasst).

Grosse Bedeutung der Energieproduktion im Kanton Aargau

Die Schweiz ist Nettoimporteur von Energie. Die Tatsache, dass im Kanton Aargau trotzdem mehr Energie produziert als verbraucht wird, zeigt die Sonderstellung des Kantons und illustriert die grosse wirtschaftliche Bedeutung der Energieproduktion.

3.5.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Die nachfolgende Tabelle fasst die Auswirkungen der Klimaveränderung sowohl auf die Produktion als auch auf den Verbrauch von Energie im Kanton Aargau zusammen.

Tabelle 4: Übersicht über die quantitativ und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Änderung im Niederschlagsregime	• Änderung der Energieproduktion aus Wasserkraft infolge veränderter Abflussmengen	• Höhere mittlere Erträge aus Wasserkraft, da Winterproduktion mit überdurchschnittlichen Preisen ansteigt
Veränderung Mitteltemperatur	• Minderaufwendungen im Zusammenhang mit der Reduktion der Heizenergie • Mehraufwendungen im Zusammenhang mit der	• Kürzere Schneebedeckung der Dächer erhöht Energieproduktion (Photovoltaik, Solarwärme) im Winter. • Abnahme des Wirkungsgrads bei der Umwandlung von Wärme in Elektrizität (z.B. Gaskombikraftwerke) sowie von Solar-

2) Excel-Download unter https://www.ag.ch/de/dfr/statistik/statistische_daten/oeffentliche_statistik/energie_4/energie_5.jsp

	Erhöhung der Kühlenergie	zellen (PV), dadurch geringere mittlere Energieproduktion. • Zunahme der Energieausbeute bei der Wärmeproduktion aus Solarenergie. • Steigende Verluste für Stromübertragung.
Sturm / Orkan	keine	• Schäden an Stromleitungen führen zu wirtschaftlichen Einbussen der Stromindustrie
Hochwasser	keine	• temporäre Einschränkungen der Wasserkraftnutzung (durch höheren Sedimentfrachten, Baumstämme etc.)
allg. Trockenheit	keine	• temporäre Einschränkungen der Wasserkraftnutzung, Notwendigkeit der Substitution aus anderen Quellen (zu allenfalls anderen Kosten)

Kernkraft negativ vom Klimawandel betroffen, wegen geplantem Ausstieg jedoch nicht untersucht

Die Kernkraft ist durch steigende Temperaturen (reduzierte Effizienz von Luft- und Wasserkühlung) sowie durch die Abnahme der Niederschläge bzw. die Zunahme von Trockenperioden im Sommer (geringere verfügbare Kühlwassermenge) negativ von den Klimaänderungen betroffen. Die Kernenergie wird im Folgenden jedoch nicht untersucht, da gemäss aktuellen politischen Vorgaben Kernkraftwerke am Ende ihrer „sicherheitstechni-schen" Laufzeit (unter Annahme einer Betriebsdauer von 50 Jahren ab 2019 bis 2034) abgeschaltet und anschliessend stillgelegt werden. Einflüsse des Klimawandels auf Kernkraftwerke sind deshalb im Jahr 2060 nicht mehr von Bedeutung.

Energieproduktion mit Fokus Wasserkraft

Im Fokus der Untersuchungen zur Energieproduktion steht die Wasserkraft, da deren Produktion direkt vom Klimaparameter „Niederschlag" abhängt, welcher die Abflussmengen in den Flüssen des Kantons AG weitgehend determiniert. Alternative Energieformen, bei denen die produzierte Leistung nur indirekt, z.B. über den Wirkungsgrad der Energieumwandlung (abhängig von der Temperatur), von Klimaparametern abhängen, werden nur qualitativ untersucht. Ebenfalls nur qualitativ betrachtet wird die Solar- und Windenergieproduktion, da es derzeit unklar ist, wie sich Klimaparameter wie Sonnenscheindauer bzw. die Verteilung der Windgeschwindigkeit ändern werden.

Energieverbrauch: Fokus auf Einsparungen beim Heizen und Mehrverbrauch für Kühlung

Beim Energieverbrauch stehen die erwarteten Einsparungen im Bereich der Heizenergie sowie der Mehrverbrauch für die zusätzliche Kühlung, die mit der Zunahme der mittleren Temperatur einhergehen, im Fokus. Folgende Bereiche werden quantitativ untersucht:

- Heizen von Gebäuden und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (die Heizung durch Abwärme wird nicht untersucht, da damit kein zusätzlicher Energieverbrauch einhergeht)
- Kühlen von Gebäuden und Fahrzeugen

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Indikatoren „Erträge“ und „Aufwendungen“

Im Auswirkungsbereich „Energie“ werden zur Quantifizierung der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels die Indikatoren „Erträge“ (Energieproduktion) bzw. „Aufwendungen“ (Energieverbrauch) betrachtet.

Auswirkungen auf die Wasserkraftproduktion

Heutiger jährlicher Ertrag aus Wasserkraft

Die heutige jährliche Energieproduktion aus Wasserkraft im Kanton Aargau beträgt knapp 3‘000 GWh/Jahr (vgl. Referenz in Fussnote 2). Basierend auf einem durchschnittlichen Stromabnahmepreis von aktuell 0.16 Fr./kWh und unter der Berücksichtigung, dass die Erlöse aus der Produktion im Mittel etwa die Hälfte des Gesamtpreises ausmachen (der Rest entfällt auf Netzdienstleistungen), ergibt dies einen durchschnittlichen Ertrag von rund 240 Mio. Fr./Jahr.

Geringfügige Zunahme der Wasserkraftproduktion erwartet

Basierend auf den Ergebnissen des Projekts CCHydro (BAFU 2012) nimmt die jährliche Abflussmenge der Flüsse im Kanton Aargau und damit auch die produzierte Energie beim Klimaszenario „2060 – schwach“ um ca. 2.4%, beim Klimaszenario “2060 – stark“ um 0.4% zu (Schätzung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Klimaszenarien, die zugrunde gelegt werden). Legt man unveränderte mittlere Preise pro kWh zugrunde, so nehmen die Erträge bei unveränderter installierter Leistung um 6 Mio. kWh (Klimaszenario schwach) bzw. 1 Mio. kWh (Klimaszenario stark) zu. Da mit dem Klimawandel die Abflussmenge im Winter, wenn der Strompreis eher überdurchschnittlich ist, zunehmen dürfte, wird vermutlich vom Klimawandel ein zusätzlicher positiver Ertragseffekt ausgehen.

Auswirkungen auf Heizen und Kühlen

Energiekosten für Heizen und Kühlen von Fr. 874 Mio./Jahr

Basierend auf aktuellen Energieverbrauchswerten und Energiepreisen (0.16 Fr./kWh für Strom, 0.10 Fr./kWh für Heizöl und Erdgas) ergeben sind für den gesamten Kanton Aargau Energiekosten für das Heizen bzw. Kühlen von Gebäuden bzw. Fahrzeugen von total 883 Mio. Fr../Jahr. Tabelle 4 zeigt die Gliederung nach den untersuchten Bereichen.

Tabelle 5
Heutige Energiekosten für das Heizen und Kühlen und erwartete relative Änderung infolge des Klimawandels

Energieart / -verwendung	Energiekosten heute [Mio. Fr.]	relative Änderung [%]	
		Klimaszenario schwach	Klimaszenario stark
Heizung alle Gebäude	810	-10%	-22%
Heizung elektrisch betriebener Verkehr	3.8	-15%	-33%
Kühlung Wohngebäude	16.5	48%	121%
Kühlung Büro-, Gewerbe- und Industriegebäude	30	48%	121%
Kühlung öffentlicher Verkehr	2.5	72%	182%
Kühlung Strassenverkehr	20	72%	182%
total (%-Werte als gewichtetes Mittel)	**883**	**95%**	**91%**

Daten und Annahmen zur Einschätzung der Wirkung des Klimawandels

Ausgehend von einer 10-jährigen Temperaturmessreihe an einer Station in Döttingen[3)] wird der Zusammenhang zwischen der Anzahl Heizgrad- bzw. Kühlgradtage und der erwarteten Änderung der mittleren Temperatur in der für das Heizen bzw. Kühlen massgeblichen Jahreszeit quantitativ aufgezeigt. Daraus wird die mit dem Klimawandel einhergehende Änderung der Anzahl Heizgrad- bzw. Kühlgradtage ermittelt. Ausgehend von der üblichen Annahme einer Proportionalität zwischen Heiz- bzw. Kühlenergie und den obigen Kenngrössen, können die Folgen des Klimawandels auf den Energieverbrauch ermittelt werden.

Überblick

Klimawandel führt insgesamt zu einer Abnahme der Energiekosten

Insgesamt ist zu erwarten, dass die Heizenergie um ca. 10% (22%) abnimmt, die Kühlenergie jedoch um ca. 50% (130%) zunimmt (der erste Wert bezieht sich jeweils auf das Klimaszenario 2060 - schwach, derjenige in Klammern auf das Klimaszenario 2060 - stark). Da der Energieverbrauch für das Heizen heute deutlich höher ist als für das Kühlen, ist insgesamt mit einer klimawandel-bedingten Abnahme des Energieverbrauchs um 6% (11%) zu rechnen. Berücksichtigt man zudem die höheren Ansprüche an die Kühlung infolge der höheren Aussentemperaturen im Sommer im Sinne eines sozio-ökonomischen Trends, so dürfte die Abnahme des Energieverbrauchs etwas geringer sein als oben ausgewiesen.

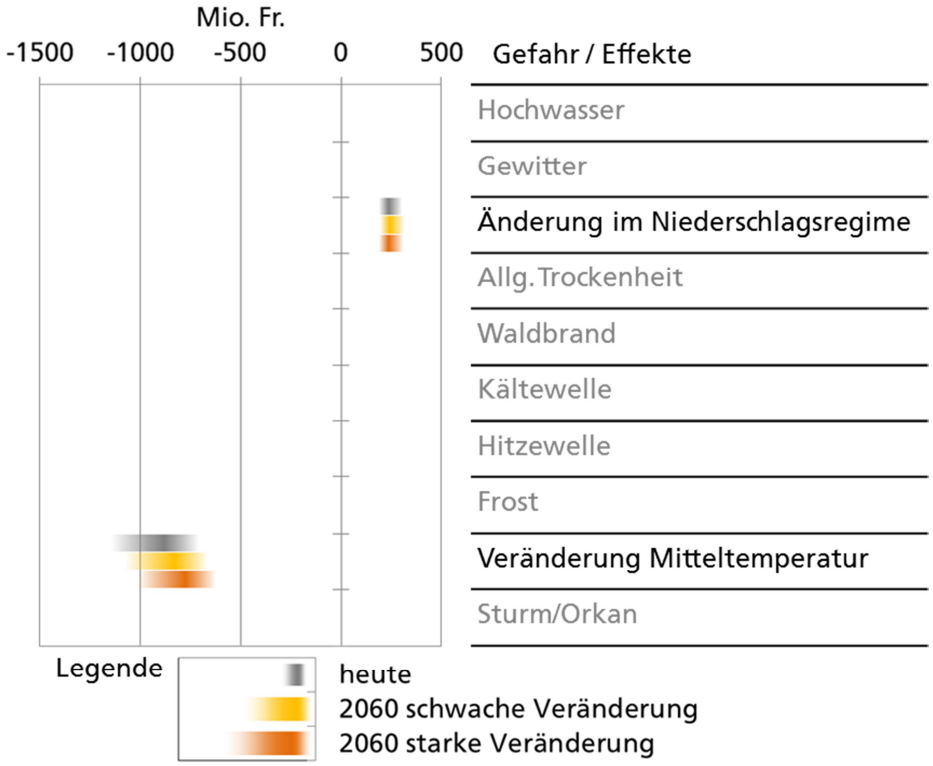
Sozio-ökonomische Trends können Energiekosten für Heizen und Kühlen stärker beeinflussen als Klimatrends

Analog wie im Bereich Energieproduktion gibt es eine Vielzahl von weiteren sozio-ökonomischen Trends, welche die Energiekosten für das Heizen und Kühlen in Zukunft stärker beeinflussen können als der Klimawandel. Es sind dies insbesondere die Preisentwicklung für fossile Energieträger sowie die energietechnische Sanierung von Wohn- und Bürogebäuden, dank der sowohl der Heiz- als auch Kühlbedarf signifikant reduziert werden können.

In Abbildung 12 sind die Auswirkungen pro Gefahr/Effekt für die drei untersuchten Zustände dargestellt (Erträge aus Energieproduktion mit positivem Vorzeichen, Aufwendung infolge Energieverbrauchs mit negativem Vorzeichen). Ebenfalls dargestellt sind die Unschärfebereiche.

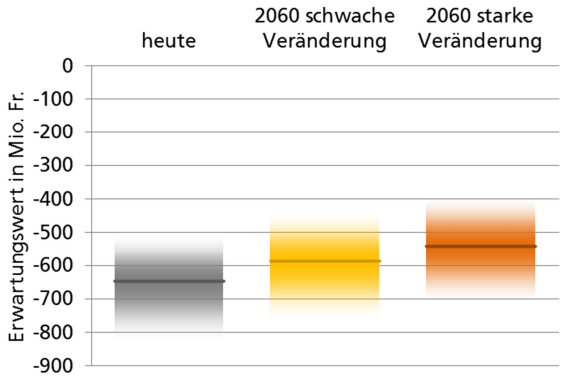
3) Quelle: http://www.kaikowetter.ch/Statistik/2011/stat11.html

Abbildung 12
Erwartete mittlere Kosten (Erträge mit positiven, Aufwendungen mit negativem Vorzeichen) im Auswirkungsbereich Energie (Balken; Farbintensität wiederspiegelt die Unsicherheit). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



Die über alle Gefahren und Effekte kumulierten mittleren jährlichen Auswirkungen (Erträge aus Wasserkraft abzüglich Aufwendungen infolge Energieverbrauchs für Heizen und Kühlen) werden auf -640 Mio. Fr. heute, -580 Mio. Fr. im Jahr 2060 mit dem schwach veränderten Klima und -540 Mio. Fr. mit dem stark veränderten Klima geschätzt (Abbildung 13).

Abbildung 13
Erwartete Auswirkungen für die heutige Situation (graue Balken) und die Klimaszenarien „schwache Veränderung" (gelb) bzw. „starke Veränderung" (rot). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



Unschärfen im Vergleich zu anderen Auswirkungsbereichen vergleichsweise gering

Im Vergleich zu anderen Auswirkungsbereichen ist die Unschärfe bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf die Energieproduktion sowie den Energieverbrauch eher klein, da eine direkte Abhängigkeit zur Erhöhung der mittleren Temperatur im Sommer und Winter sowie zur Änderung des Niederschlags im Jahresmittel gegeben ist.

3.5.3 Beurteilung

Keine deutlichen Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserkraftproduktion zu erwarten

Deutliche Auswirkungen des Klimawandels bis 2060 auf die Wasserkraftproduktion im Kanton Aargau sind nicht zu erwarten. Längerfristig dürfte die produzierte Energiemenge jedoch abnehmen, da nach 2060 der Gletscherabfluss zurückgeht. Die Abnahme der jährlichen Niederschläge im Sommer bei gleichzeitiger Zunahme im Winter dürfte zukünftig zu höheren Erträgen führen, da im Winter der Strombedarf grösser ist und entsprechend auch die Energiepreise tendenziell höher sind. Daran dürfte auch der zunehmende Stellenwert von alternativen Energien wenig ändern. Wie sich die Erträge im Einzelnen entwickeln, hängt nicht primär vom Klimawandel, sondern von der Entwicklung der Energiepreise ab.

Abnehmender Heizenergiebedarf wird nur teilweise durch höheren Kühlenergiebedarf kompensiert

Eine der klarsten Auswirkungen des Klimawandels zeigt sich im abnehmenden Bedarf nach Heizenergie. Dies dürfte teilweise, aber nicht vollständig, durch einen höheren Energiebedarf für die Kühlung kompensiert werden. Wie sich die Aufwendungen für das Heizen und Kühlen zukünftig entwickeln, hängt jedoch auch stark von diversen sozioökonomischen Trends ab (insbes. Entwicklung Energiepreise und Geschwindigkeit, mit der der bestehende Gebäudebestand energetisch saniert wird), vgl. die zugehörigen Ergebnisse im Anhang.

Bedeutung nicht quantifizierter Auswirkungen eher gering

Unter der Annahme, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktion von Solar- und Windenergie gering sind, dürften die restlichen, nicht quantitativ ermittelten Auswirkungen des Klimawandels im Kanton Aargau einen vergleichsweise geringen Stellenwert haben.

3.6 Infrastrukturen und Gebäude

3.6.1 Wichtige Kenngrössen

Gebäude mit Versicherungswert von Fr. 190 Mia. im Kanton Aargau

Im Kanton Aargau befinden sich derzeit ca. 220'000 Gebäude, welche einen Gebäudeversicherungswert von ca. Fr. 190 Mia. darstellen (Daten der Aargauer Gebäudeversicherung AGV, Stand 2011).

Übersicht Infrastrukturen im Kanton Aargau

Im Bereich Verkehrsinfrastruktur befinden sich ca. 5'600 km Strassen (davon 99 km National-, 1'150 km Kantons- und 4'350 km Gemeindestrassen, Stand 2009) und Eisenbahnlinien im Umfang von knapp 400 km auf dem Kantonsgebiet. Dazu kommen Infrastrukturen zur Verteilung von Energie (Erdgas, Elektrizität) und zur Gewährleistung von Telekommunikationsdienstleistungen. Weitere Infrastrukturen dienen dem Schutz vor Hochwasser (z.B. Schutzdämme).

350'000 PkW im Kanton Aargau registriert

Für die nachfolgend ausgewiesenen Risiken ist auch der vorhandene Fahrzeugpark von Bedeutung. Derzeit sind im Kanton Aargau knapp 350'000 private Personenwagen zugelassen (Stand 2011, Statistik AG).

3.6.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude primär durch Naturgefahren Hochwasser, Sturm und Hagel / Gewitter

Auswirkungen auf Infrastrukturen und Gebäude, die vom Klimawandel beeinflusst werden können, gehen vor allem von den Naturgefahren aus, die im Zusammenhang mit starken Niederschlägen (als Regen oder Hagel) oder starkem Windaufkommen stehen. Deutlich über 90% der Gebäudeschäden infolge von Naturgefahren entfallen im Kanton Aargau derzeit auf die drei Gefahrenarten „Hochwasser", „Sturm" und „Hagel / Gewitter". Diese Gefahrenarten dürften auch zukünftig unter Berücksichtigung des erwarteten Klimawandels im Kanton Aargau den grössten Teil der Schäden an Gebäuden bzw. Infrastrukturen ausmachen.

Schäden an Fahrhabe mitberücksichtigt

Mit Gebäudeschäden sind immer auch Schäden an Einrichtungen im Innern von Gebäude verbunden. Diese werden unter dem Stichwort „Fahrhabe" für die obigen Naturgefahren mitberücksichtigt.

Hagelschäden an Fahrzeugen miterfasst

In Bezug auf Schäden an Fahrzeugen (primär private Personenwagen), welche ebenfalls über diesen Auswirkungsbereich erfasst werden, sind heute und auch in Zukunft primär Hagelschäden von Bedeutung.

Betrachtung Kosten Winterdienst und Reparatur Frostschäden

Ebenfalls betrachtet wird der Aufwand für den Winterdienst sowie zur Behebung von Frostschäden an Strassen, welcher von der Zahl der Tage mit Schneefall bzw. Temperaturen um bzw. unter 0°C abhängt und sich mit dem Klimawandel verändern wird. Diese Auswirkungen werden der Gefahr / dem Effekt „Veränderung Mitteltemperatur" zugeordnet.

Tabelle 6 fasst die Auswirkungen der Klimaveränderung in Bezug auf Gebäude, Infrastrukturen und Fahrzeuge im Kanton Aargau zusammen.

Tabelle 6
Übersicht über die quantitativ und die nicht quantitativ analysierten Auswirkungen

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Hochwasser	• Gebäudeschäden • Schäden Fahrhabe • Sachschäden Verkehrsinfrastruktur	• Folgen von Gebäudeschäden (z.B. Produktionsausfall) • Evakuierte + Betroffene • Schäden an restlicher Infrastruktur (inkl. Hochwasserschutzbauten) und an Fahrzeugen • Indirekte Schäden infolge Infrastrukturausfall
Sturm / Orkan	• Gebäudeschäden • Schäden Fahrhabe • Schäden Bahninfrastruktur	• Folgen von Gebäudeschäden (z.B. Produktionsausfall) • Fahrzeugschäden • Evakuierte + Betroffene • Schäden an restlicher Infrastruktur

		• Indirekte Schäden wegen eines Infrastrukturausfalls
Gewitter / Hagel	• Gebäudeschäden • Schäden Fahrhabe • Fahrzeugschäden	• Folgen von Gebäudeschäden (z.B. Produktionsausfall) • Evakuierte + Betroffene • Schäden Infrastruktur • Indirekte Schäden wegen eines Infrastrukturausfalls
Veränderung Mitteltemperatur	• Aufwand für den Winterdienst an Strassen • Frostschäden an Strassen (im Zusammenhang mit Wechsel zwischen Frost- und Tauphasen)	• Aufwand für den Winterdienst an der Eisenbahninfrastruktur • Frostschäden an Fahrzeugen (z.B. Dieselfahrzeuge) • Frostschäden an Bahninfrastruktur, Wasserleitungen und Gebäudeinfrastruktur
Waldbrand	keine	• Gebäudeschäden und indirekte Folgen davon (z.B. Betriebsausfall) • Schäden an Fahrhabe

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Indikatoren Vermögensschäden und Aufwendungen untersucht

Im Auswirkungsbereich „Infrastrukturen und Gebäude“ werden folgende Indikatoren zur Quantifizierung der Auswirkungen des Klimawandels herangezogen:

- Vermögensschäden: alle Sachschäden infolge von Naturgefahren (Gefahren/Effekte „Hochwasser“, „Sturm“ und „Hagel / Gewitter“)
- Aufwendungen: Kosten im Zusammenhang mit dem Winterdienst bzw. zur Behebung von Frostschäden (Gefahr „Veränderung Mitteltemperatur“)

Die heutigen mittleren Vermögensschäden infolge der drei für den Kanton Aargau massgeblichen Naturgefahrenarten sind in Tabelle 7 dargestellt. Die Werte basieren auf langjährigen Schadenstatistiken der Aargauer Gebäudeversicherung, von Privatversicherern (Fahrzeugschäden) sowie auf Daten des Kantons zu Strassenschäden, wobei im Sinne von Expertenschätzungen bei Bedarf Korrekturen in Bezug auf seltene Grossereignisse vorgenommen werden (je nach deren Stellenwert in der Schadenstatistik).

Tabelle 7
Heutige mittlere Vermögensschäden pro Naturgefahr gegliedert nach Objekten

	mittlere jährliche Vermögensschäden [Mio. CHF] im Kt. AG infolge			
geschädigte Objekte	**Hochwasser**	**Sturm**	**Hagel / Gewitter**	**total**
Gebäude	15	10	11	36
Fahrhabe	9.9	2.2	0.8	13
Verkehrsinfrastruktur	0.4	vernachlässigbar	vernachlässigbar	0.4
Fahrzeuge	vernachlässigbar	vernachlässigbar	16	16
total	**25**	**12**	**28**	**65**

Auswirkungen auf die drei Naturgefahren

Die Auswirkungen des Klimawandels dürften sich nach Einschätzung der Experten wie folgt in einer Veränderung der obigen Werte bis im Jahr 2060 widerspiegeln:

Zunahme der Auswirkungen von Hochwasserereignissen

- Die Häufigkeit von Intensivniederschlägen, welche zu signifikanten Schäden im Kanton Aargau führen, dürfte beim Klimaszenario „2060 – schwach" um ca. 10%, beim Klimaszenario „2060 – stark" um ca. 30% zunehmen.

Änderungen der Auswirkungen von Sturm- und Hagelereignisse ungewiss

- Aussagen über Veränderungen an schadenrelevanten Sturm- bzw. Hagelereignissen können derzeit nicht gemacht werden, da die wissenschaftlichen Grundlagen zum Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und Winterstürmen bzw. konvektiven Phänomenen in der Atmosphäre (Gewitter) zu wenig untersucht und verstanden sind. Für die vorliegende Studie lassen sich die möglichen Auswirkungen deshalb nur über eine Sensitivitätsanalyse untersuchen (Annahme: Zu- bzw. Abnahme der Häufigkeit solcher schadenrelevanter Ereignisse um Faktor 1.5 bzw. 1/1.5 = 0.67).

Grosse Unschärfen im Zusammenhang mit Auswirkungen durch Sturm bzw. Hagel/Gewitter

Aufgrund des vorliegenden Wissens ist infolge des Klimawandels bis 2060 tendenziell mit einer Erhöhung der jährlichen Vermögensschäden infolge von Hochwasser zu rechnen. Aufgrund des beträchtlichen Stellenwerts der Risiken infolge von Sturm bzw. Hagel/Gewitter (heutiger Anteil gut 60%) könnten die Risiken insgesamt aber auch abnehmen. Die Unschärfen zum Einfluss des Klimawandels auf die Naturgefahrenrisiken insgesamt sind als gross zu beurteilen.

Auswirkungen auf den Winterdienst

Aufwendung für Winterdienst und Reparatur von Frostschäden an Strassen

Die heutigen mittleren Aufwendungen für den Winterdienst auf den Strassen des Kantons AG belaufen sich nach Angaben des Tiefbauamts des Kantons AG auf ca. 16 Mio. Fr./Jahr (ohne Amortisationskosten für die notwendigen Fahrzeuge, welche weitgehend unabhängig sind von der Zahl der Winterdiensteinsätze). Die Aufwendungen für die Reparatur von Frostschäden an Strassen belaufen sich gemäss derselben Quelle auf ca. 3 Mio. Fr./Jahr.

Deutliche Reduktion der Zahl der Winterdiensteinsätze und der Frostschäden mit Klimawandel

Aufgrund von Experteneinschätzungen ist damit zu rechnen, dass die Zahl der Tage, an denen Winterdienstarbeiten notwendig sind, beim Klimaszenario schwach um 40%, beim Klimaszenario stark um 70% zurückgehen. Eine vergleichbare Reduktion kann bei den Reparaturaufwendungen für Frostschäden an Strassen angenommen werden (obwohl hier primär die Zahl der Wechsel zwischen Gefrieren und Tauen massgeblich ist).

Reduktion der Aufwendungen um Fr. 8 bzw. 13 Mio./Jahr

Insgesamt ist somit davon auszugehen, dass sich im Kanton Aargau unter den heutigen sozioökonomischen Randbedingungen (Grösse Strassennetz, Ansprüche der Öffentlichkeit an den Umfang der Winterdienstarbeiten) die Aufwendungen für den Winterdienst sowie im Zusammen-

hang mit Frostschäden beim Klimaszenario schwach bzw. stark gegenüber heute um 8 Mio. Fr./Jahr bzw. 13 Mio. Fr./Jahr reduzieren dürften.

Übersicht

Unschärfen mittel bis hoch

Die Unschärfen in Bezug auf die Veränderung der Aufwendungen im Zusammenhang mit den obigen beiden Aktivitäten liegen in einem mittleren Bereich. Eine Abnahme der Aufwendungen mit dem Klimawandel ist unbestritten, das Ausmass der Reduktion ist hingegen beträchtlichen Unschärfen unterworfen. Die Unschärfen sind im Bereich der Naturgefahrenrisiken insgesamt deutlich höher, denn dort ist auch das Vorzeichen der Veränderung ungewiss.

Darstellung der Auswirkungen für die drei untersuchten Zustände

In Abbildung 14 sind die Auswirkungen (Vermögensschäden infolge von Naturgefahren, Aufwendungen infolge von Winterdienstarbeiten bzw. Frostschäden an Strassen) für die drei untersuchten Zustände gegliedert nach Gefahr/Effekt bzw. in der Summe dargestellt. Die Rauten in Abbildung 14 stellen die Schäden eines 100-jährigen Ereignisses dar.

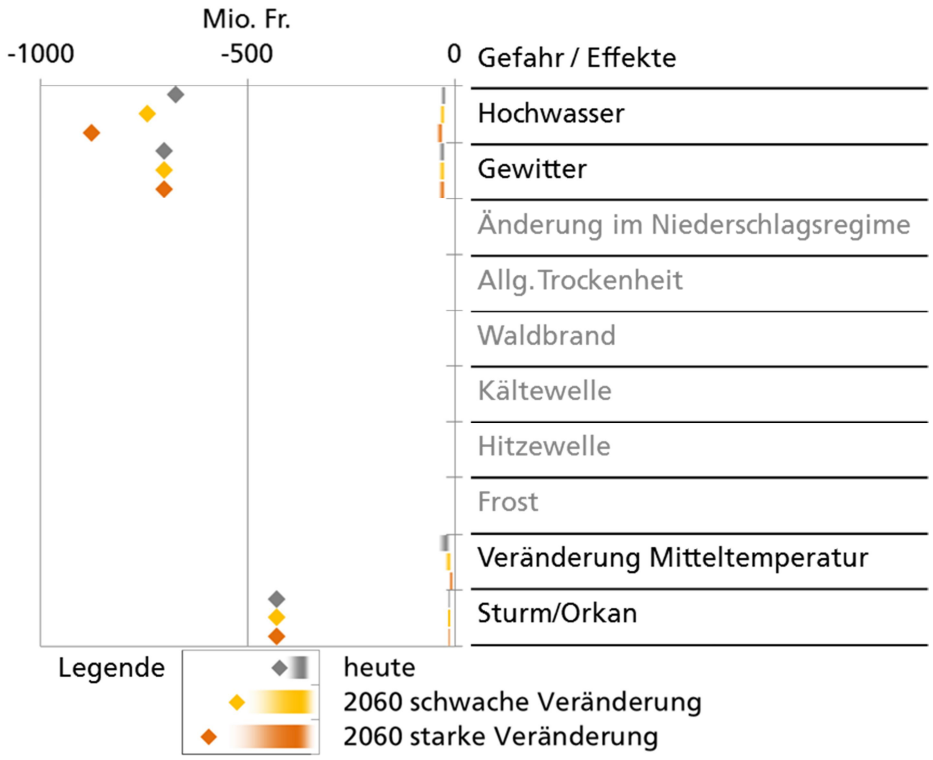
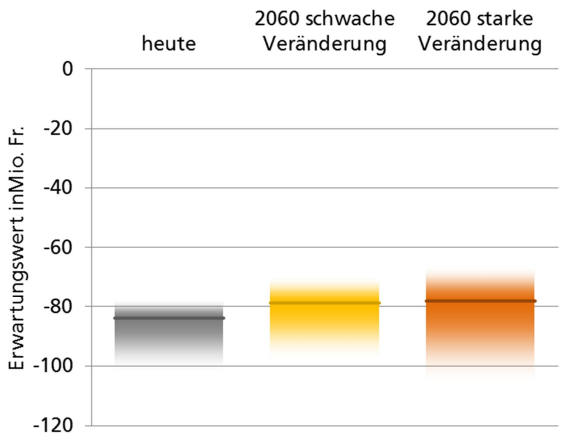


Abbildung 14
Erwartungswert mit Unsicherheitsbalken der Auswirkungen des Klimawandels auf Infrastrukturen und Gebäude. Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.

In Abbildung 15 sind die aggregierten Auswirkungen der betrachteten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude für den heutigen Zustand und die beiden Klimaszenarien dargestellt. Insgesamt wird eine leichte Abnahme der monetarisierten Auswirkungen von Naturgefahren und Witterungseinflüssen erwartet.

Abbildung 15
Erwartete Schäden für die heutige Situation (graue Balken) und die Klimaszenarien „2060 - schwach" (gelb) und „2060 - stark" (rot). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



3.6.3 Beurteilung

Zusammenfassende Beurteilung

Die Auswirkungen des erwarteten Klimawandels auf den heutigen Bestand an Infrastrukturen und Gebäuden (inkl. Fahrhabe und Fahrzeuge) im Kanton Aargau lassen sich zusammenfassend wie folgt beurteilen:

Aufwendungen für Betrieb und Unterhalt von Strassen sowie Vermögensschäden infolge von Hochwasser insgesamt eher sinkend

- Im Bereich „Betrieb und Unterhalt von Strassen" ist aufgrund der sinkenden Zahl der Tage mit Schneefall sowie der geringeren Zahl von Tagen mit Frost mit einer Reduktion der Aufwendungen in der Grössenordnung von 8 - 13 Mio. Fr./Jahr zu rechnen.
- Vermögensschäden infolge von Hochwasser dürften im Jahresmittel tendenziell zunehmen. Der zugehörige Schätzwert beträgt je nach Klimaszenario zwischen ca. 3 und 8 Mio. Fr./Jahr. Sofern die Häufigkeit von Grossereignissen (überregionale, anhaltende Extremniederschläge) infolge des Klimawandels stärker zunimmt als mittlere und kleinere Ereignisse (z.B. regionale Starkniederschläge), so könnten die mittleren jährlichen Schäden auch stärker zunehmen.

Entwicklung bei den Sturm- und Hagelschäden für Gesamtauswirkungen mitentscheidend

- Die Entwicklung bei den Sturm- und Hagelschäden ist extrem ungewiss. Da diese einen beträchtlichen Stellenwert haben, sind sie mitentscheidend dafür, ob die Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Infrastruktur und Gebäude insgesamt positiv oder negativ sind.

Verdopplung der Naturgefahrenrisiken infolge sozioökonomischer Trends bis 2060

Sozioökonomische Trends, welche die Naturgefahrenrisiken massgeblich beeinflussen können, betreffen insbesondere die Zahl und den mittleren Wert von Gebäuden (mit zugehöriger Fahrhabe) bzw. Fahrzeugen. Bis zum Jahr 2060 ist diesbezüglich ca. mit einer Verdopplung der Risiken zu rechnen. Solange die mittlere Vulnerabilität von Gebäuden bzw. Fahrzeugen bezüglich Naturgefahrenereignissen nicht zunimmt, stellt dies für die Versicherungen jedoch kein ernsthaftes Problem dar, da auch die Versicherungsprämien entsprechend ansteigen.

Die nicht quantitativ ermittelten Auswirkungen dürften etwa einen vergleichbaren Stellenwert haben wie die quantitativ ermittelten. Es ist davon auszugehen, dass die wesentlichen Aussagen durch Letztere nicht signifikant beeinflusst werden.

Bedeutung nicht quantifizierter Auswirkungen etwa vergleichbar

3.7 Wasserwirtschaft

3.7.1 Wichtige Kenngrössen

Fokus Trinkwasser

Für die Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels wurde auf die Versorgung der Einwohnerinnen und Einwohner mit Trinkwasser fokussiert. Wasserkraft wird im Auswirkungsbereich Energie berücksichtigt. Das Hauptleitungsnetz von 4'750 km Länge versorgt 570'000 Einwohner mit Trinkwasser. Zwei Drittel des Trinkwassers werden aus Grundwasser und ein Drittel aus Quellen bezogen. Ein kleiner Anteil wird über Verbundsysteme als aufbereitetes Wasser dem Zürichsee entnommen. Seit 1970 ist der Wasserverbrauch gestiegen, seit 10 Jahren ist jedoch ein leichter Rückgang zu bemerken. Die Wasserversorgung ist vom kurzfristigen Witterungsgeschehen abhängig. Trockenperioden bringen hohe Bedarfsspitzen mit sich, welche die Wasserversorgungen trotz des guten Angebots und der Vernetzung vor entsprechende Herausforderungen stellen werden (BVU und AVA, 2007).

Stabile Wasserversorgung

Das komplett revidierte Leitbild Wasserversorgung zeigt auf, dass der Kanton Aargau sehr gut da steht und auch in Zukunft seine Wasserversorgung selbständig und ohne externe Unterstützung aufrechterhalten kann (BVU und AVA, 2007).

3.7.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen einer Veränderung der klimabeeinflussten Gefahren und der Effekte des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Gefahr/Effekt	Quantifizierte Auswirkungen	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Hochwasser	• Schäden ein Einrichtungen der Wasserversorgung.	• Infiltration von verschmutztem Oberflächenwasser, z.B. durch technische Unfälle wie Heizöl, Industriemittel etc.) • Veränderung Grundwasserverhältnisse.
Allg. Trockenheit	• Aufwendungen für die Auf-	• Auswaschungen von Düngemit-

	rechterhaltung der Trinkwasserversorgung.	teln nach längeren Trockenperioden und Eintrag in das Grundwasser. • Verschlechterung der Trinkwasserqualität. • Absinken des Grundwasserspiegels nach Trockenperioden. • Temperaturerhöhungen und Trockenfallen von Gewässern mit negativen Auswirkungen auf Fischbestände und Fischerei. • Niedrigwasser in Gewässern mit Schifffahrt, damit Einschränkung von Transport und touristischer Nutzung.

Neben diesen erwarteten Auswirkungen können auch noch viel schwerwiegendere Auswirkungen als die hier angenommenen (sog. Wildcards) erwartet werden. Denkbar sind beispielsweise folgende Situationen:

Mikrobiologische Verunreinigungen

- Mikrobiologische Verunreinigungen und Verunreinigungen mit Pestiziden, Chemikalien bisher nicht gekannten Ursprungs nach längeren Trockenperioden bedingt durch Auswaschung oder nach grösseren Hochwasserereignissen.

Absinken Grundwasserspiegel

- Bei wiederholt auftretenden Trockenperioden innerhalb weniger Jahre können die Grundwasserspiegel absinken. Ein Auffüllen der Grundwasserspiegel benötigt mehrere Jahre.

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft wurden die Auswirkungen des Klimawandels für die Trinkwasserversorgung anhand des Indikators Vermögensschäden und Bewältigungskosten bewertet.

Auswirkungen von Hochwasserereignissen

In den vergangenen Jahren wurden keine nennenswerten Schäden an der Wasserversorgung verzeichnet. Treten vermehrt Hochwasserereignisse auf, könnten jedoch vermehrt Schäden an der Trinkwasserversorgung auftreten. In Abstimmung mit den Experten wurde ein durchschnittlicher jährlicher Schaden von 100'000 CHF und ein maximaler Schaden von 3 Mio. CHF angenommen, was rund 1 Promille des Anlagevermögens entspricht. Der jährliche Erneuerungsbedarf für die Erhaltung der Trinkwasserversorgung beträgt rund 60 Mio. CHF (BVU und AVA, 2007). Unter Annahme des Klimaszenario 2060 - schwach wird in Abstimmung mit den Experten eine Zunahme des mittleren jährlichen Schadens um 10% erwartet. Für das Klimaszenario 2060 - stark wird eine Zunahme des mittleren jährlichen Schadens um 50 % erwartet.

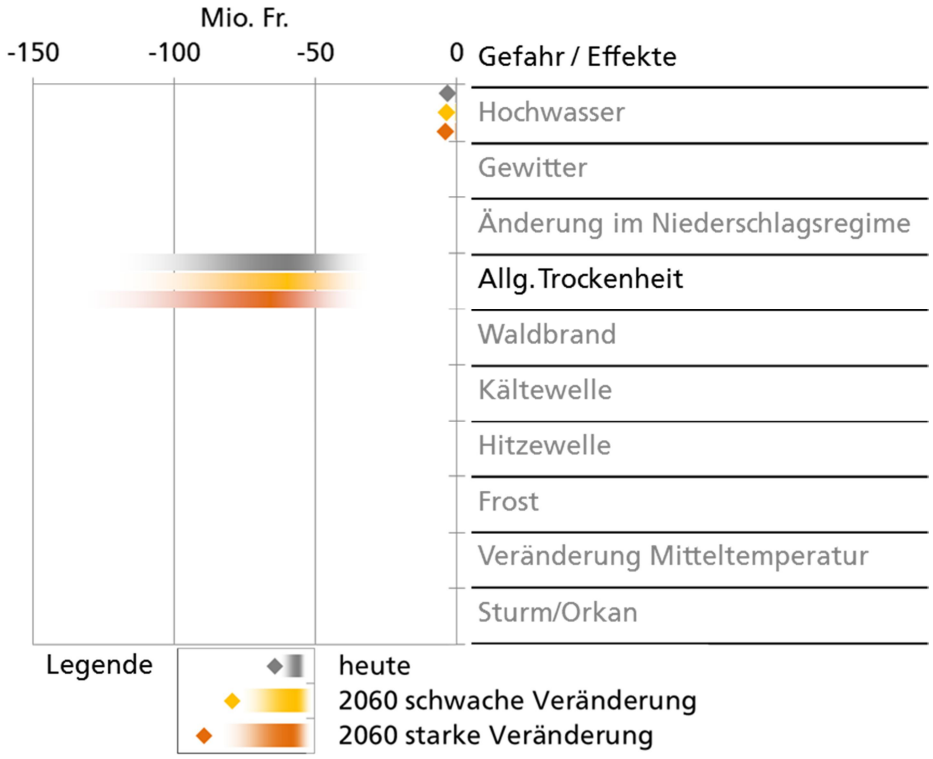
Höherer Aufwand bei Trockenperioden

Häufige Trockenperioden können mittelfristig einen Einfluss auf den Wasserbedarf haben und dazu führen, dass mehr Aufwand für die Aufrechterhaltung der Wasserversorgung geleistet werden muss. Als Grund-

lage für die Ermittlung des heutigen Aufwandes für den Umgang mit Trockenheit werden die jährlichen Aufwendungen für den Erhalt der Trinkwasserversorgung zu Grunde gelegt. Diese betragen 60 Mio. CHF pro Jahr. Da sich die Niederschläge im Klimaszenario 2060 – schwach nicht wesentlich ändern wird hier von einem gleichleibenden Aufwand ausgegangen. Für das Klimaszenario 2060-stark wird von den Experten mit einer Zunahme des Aufwands um 10% gerechnet.

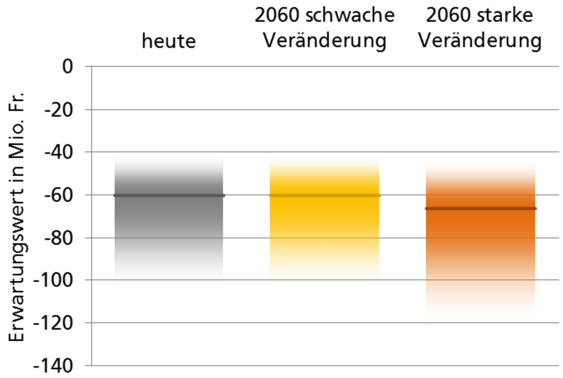
In Abbildung 16 sind die genannten Auswirkungen für die drei untersuchten Zustände gegliedert nach Gefahr/Effekt dargestellt.

Abbildung 16
Erwartete mittlere Kosten der klimabedingten Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft (Balken; Farbintensität wiederspiegelt die Unsicherheit) und Ausmass eines 100-jährlichen Ereignisses (Rauten). Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



In Abbildung 17 sind die aggregierten Auswirkungen der betrachteten Gefahren und Effekte für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft für den heutigen Zustand und die beiden Klimaszenarien dargestellt. Insgesamt wird für das Klimaszenario „2060 – stark“ eine Zunahme der Kosten in der Wasserwirtschaft erwartet während sie im Klimaszenario „2060 – schwach“ nahezu unverändert bleiben.

Abbildung 17
Erwartungswert mit Unsicherheitsbalken der durch den Klimawandel generierten Kosten in der Wasserwirtschaft des Kantons Aargau. Siehe auch die Lesehilfe im Kapitel Gesundheit.



3.7.3 Beurteilung

Sinkende Grundwasserspiegel

Verminderte Niederschläge in den Sommermonaten und längere Trockenperioden dürften den grössten Einfluss auf die Trinkwasserversorgung haben und damit auch zu höherem Aufwand für die Gewährleistung der Trinkwasserversorgung führen. Sinkt der Grundwasserspiegel nach längeren Trockenperioden so braucht es relativ lange, bis der ur-

sprüngliche Stand wieder erreicht ist. Sinkende Pegel in den Flüssen können auch negative Auswirkungen auf die Fischbestände und die Fischerei haben.

Bedeutung nicht quantifizierter Auswirkungen eher grösser

Die nicht quantitativ ermittelten Auswirkungen dürften einen grösseren Stellenwert haben als die quantitativ ermittelten.

3.8 Tourismus

Der Tourismus wurde in der Fallstudie Kanton Aargau als Auswirkungsbereich mit vergleichsweise geringen klimabedingten Auswirkungen eingestuft (vgl. 3.1). Daher wurde er hier in geringerem Detaillierungsgrad als die anderen Auswirkungsbereiche analysiert.

3.8.1 Wichtige Kenngrössen

Der Tourismus im Kanton Aargau ist vor allem durch den Tagestourismus geprägt, welcher circa 86% des Gesamttourismus ausmacht. Circa 70% der Übernachtungen sind auf Geschäftstourismus, 15 bis 20% auf Freizeit und 10 bis 15% auf Kuraufenthalte zurückzuführen. Mehr als die Hälfte der Touristen im Kanton Aargau stammen aus der Schweiz, gefolgt von Gästen aus Deutschland und anderen europäischen Ländern wie beispielsweise Frankreich, Italien, Österreich, Grossbritannien und Holland.

3.8.2 Ergebnisse

Hochwasser

Hochwasser kann zu Schäden an touristischen Infrastrukturen, z. B. Hotels, Gaststätten und Museen, führen, was ein Ausbleiben der Touristen und folglich Ertragseinbussen im Tourismussektor zur Folge haben kann. Schäden an Gebäuden, Verkehrs- und Versorgungsinfrastrukturen sind im Auswirkungsbereich „Infrastrukturen und Gebäude" erfasst. Die durch Hochwasser verursachten Ertragseinbussen im Tourismussektor werden für den Kanton Aargau als gering beurteilt, wenn man sie z. B. mit den Gebäudeschäden infolge Hochwasser vergleicht.

Veränderung Mitteltemperatur und Änderung im Niederschlagsregime

Die Klimaänderung wird gemäss Prognosen zu einer Erhöhung der Mitteltemperatur und abnehmenden Niederschlägen im Sommer führen. Aufgrund der wärmeren Temperaturen und geringeren Niederschläge im Sommer, verlagert die Bevölkerung der städtischen Gebiete ihre Aktivitäten vermehrt ins Freie, der öffentliche Raum wird belebt und es findet eine sogenannte Mediterranisierung statt. Das belebte, attraktive städtische Bild kann Touristen anziehen und zu einer Zunahme der Erträge aus

dem Tourismussektor führen. Aufgrund des bisher moderaten „Städtetourismus“ im Kanton Aargau wird dieses Potential im Vergleich zu anderen klimabedingten Auswirkungen als gering eingestuft.

Hitzewellen

Wenn Hitzewellen künftig häufiger auftreten, kann dies dazu führen, dass Touristen vermehrt höher gelegene Regionen aufsuchen, in denen die Hitzewellen weniger ausgeprägt sind. Im Kanton Aargau dürfte eine solche Verlagerung sehr moderat ausfallen, da Hitzewellen nur im Hochsommer in einem Masse auftreten dürften, dass sie die Entscheidung von Touristen über die Destination beeinflussen. Zudem sind die überwiegenden Tourismusarten im Kanton Aargau nur wenig klimasensitiv (Geschäftstourismus, lokaler/regionaler Tagestourismus).

Der Wärmeinseleffekt wird in den beiden städtischen Gebieten Baden-Brugg und das Aareland (Aarau-Olten-Zofingen) aufgrund der Grünflächen innerhalb der beiden Gebiete geringer ausfallen als in dichter bebauten Städten.

Folgen von Stürmen/Orkanen, Gewittern oder Waldbrand

Die Auswirkungen von Stürmen und Orkanen, Gewittern oder Waldbränden dürften für den Tourismus im Kanton Aargau bisher sehr moderat sein. Infolge von Stürmen wie Lothar (1999) oder auch Gewitter und Waldbrand sind teilweise touristisch genutzte Freizeitinfrastrukturen vorübergehend nicht passierbar (z. B. Wanderwege oder Mountainbike-Trails). Zudem kann das Landschaftsbild infolge grossflächigen Windwurfs durch schwere Stürme verändert werden. Besonders letztere Auswirkungen könnten für Touristen aber auch attraktiv sein. Es ist hier nicht möglich, klare Trends zu benennen.

3.8.3 Beurteilung

Wenig klimasensitive Tourismusformen

Es ist zu erwarten, dass die klimabedingten Änderungen eher geringe Auswirkungen für den Tourismus im Kanton Aargau zur Folge haben. Ein wesentlicher Grund ist der wenig klimasensitive Tagestourismus, der 86% des gesamten Aargauer Tourismus entspricht. Tagesgäste, unter anderem Geschäftsreisende, reagieren nicht oder nur beschränkt auf die zu erwartenden Klimaänderungen im Kanton Aargau.

Chance Mediterranisierung

Als Chance für den Tourismus kann die sogenannte Mediterranisierung der städtischen Gebiete genannt werden, die zu höheren Einnahmen aus touristischen Aktivitäten führen könnte; dieses Potential wird aber als gering erachtet. Beeinträchtigungen können eintreten durch Zerstörung der touristischen Infrastrukturen, wie beispielsweise Hotels, Museen und Wanderwege, durch Hochwasser, Stürme, Gewitter oder Waldbrände. Auch kann ein häufigeres Auftreten von Hitzewellen zu einer Abwanderung der Touristen in höher gelegene Gebiete führen.

3.9 Biodiversität

3.9.1 Wichtige Kenngrössen

Hohe Anzahl wertvoller Biotopflächen

Der Kanton Aargau hat eine besondere Verantwortung gegenüber 400 Arten und verfügt über eine hohe Anzahl wertvoller Biotopflächen (BVU, 2010). Zur Überwachung der Entwicklung der Biodiversität werden seit 1995 regelmässig 517 Flächen auf ihre Tagfalter-, Schnecken-, Vogel- und Pflanzenarten untersucht. Daraus wird der sogenannte Kessler-Index errechnet, welcher für die Höhe der Biodiversität der Gebiete steht (Kanton Aargau, oJ). Die relativ kurze Beobachtungsdauer lässt noch keine gesicherten Aussagen über mögliche Veränderungen aufgrund des Klimawandels zu. Wiesen und Weiden weisen bei Pflanzen, Schnecken und Brutvögeln doppelt so viele verschiedene Arten auf als Ackerflächen (Kanton Aargau, 2006). Die Wechselwirkung der verschiedenen Einflussfaktoren und die zum Teil noch nicht ausreichende Kenntnis über Reaktionen verschiedener Arten erschweren eine verlässliche Aussage über die klimabedingte Veränderung der Biodiversität.

Wechselwirklungen erschweren verlässliche Aussage

3.9.2 Ergebnisse

Überblick der Auswirkungen des Klimawandels

Rein qualitative Analyse

Die Auswirkungen einer Veränderung der klimabeeinflussten Gefahren und der Effekte des Klimawandels auf die Biodiversität wurden rein qualitativ analysiert, da sich die meisten Auswirkungen einer quantitativen Betrachtung entziehen. Die wichtigsten Effekte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Gefahr/Effekt	Nicht quantifizierte Auswirkungen
Änderung Niederschlagsregime	• Veränderung Artenzusammensetzung in bisherigen Standorten; Zu-/Abnahme der Anzahl bestimmter Arten (artenspezifisch). • Verlust feuchteliebender, einheimischer Arten.
Allg. Trockenheit	• Verschlechterung Qualität und Verlust von Feuchtgebieten. • Zunahme von trockenheitsresistenten Arten.
Änderung Temperaturregime	• Veränderung Artenzusammensetzung und Artenanzahl in der jetzigen Form; Verschiebung von Verbreitungsgrenzen nach oben. • Kompensation der Abnahme Artenanzahl einheimischer Arten durch Neueinwanderer unklar. • Zunahme wärmeliebende Gefässpflanzenarten sowie Unkraut- und Ruderalpflanzen sowie wärmeliebender Tiere. • Zunahme von Neophyten und Neozoen, darunter auch invasive Arten.

Neben diesen erwarteten Auswirkungen gibt es weitere schwerwiegenderen Auswirkungen als den hier angenommenen (sog. Wildcards). Denkbar sind beispielsweise folgende Situationen:

- Einschleppen von Schadorganismen durch globalen Waren- und Personentransporte, die zu wesentlichen Beeinträchtigungen der heutigen Artenzusammensetzungen und Lebensräume führen.

Schadorganismen

- Tiefgreifende Änderung der jetzigen Artenzusammensetzung und Verdrängung einheimischer Arten. Die Konsequenzen für die Aufrechterhaltung der Ökosystemfunktionen sind ungewiss.

Einfluss von Artenzusammensetzung auf Ökosystemfunktionen

Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels

Feuchteliebende Arten werden verdrängt

Die Änderung des Niederschlagsregimes verbunden mit dem häufigeren Auftreten von längeren Trockenperioden kann sich positiv oder negativ auswirken. Bei einer Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten und bei Auftreten längerer Trockenperioden ist damit zu rechnen, dass vor allem Feuchtgebiete trockener werden (BAFU, 2012) und die heute vorkommenden Arten in diesen Gebieten durch die Verkleinerung dieser Nischen einem höheren Aussterberisiko ausgesetzt sind.

Negativen Auswirkungen für Gewässer

Bei geringer werdenden Niederschlägen und längeren Trockenperioden verringern sich die Wasserstände in den Gewässern bzw. sie können ganz trockenfallen. Dies hat in verschiedener Hinsicht negative Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Gewässerbewohner. Einerseits sind die Gewässer nicht mehr durchgängig, so dass der Lebensraum z.B. von Fischen stark eingeengt wird. Andererseits steigt durch den geringeren Wasserstand auch die Wassertemperatur und der Sauerstoffgehalt nimmt ab. Insbesondere die Fische reagieren sehr stark auf veränderte Wassertemperaturen. Allgemein wird sich in den Gewässern die Artenzusammensetzung an die veränderten Rahmenbedingungen anpassen und sie wird zunehmend dem Druck durch invasive gebietsfremde Arten ausgesetzt sein (BVU, 2010).

Zunahme Tagfalter bei trockenen Bedingungen

Trockenere Klimabedingungen können sich aber auch günstig für andere Arten auswirken. So zeigt eine Modellierung der Anzahl von Trockenwiesen Tagfaltern, dass wenig Niederschlag und eine hohe Durchschnittstemperatur im Sommerhalbjahr typische Hinweise auf eine hohe Anzahl Tagfalterarten sind. Zunehmende Niederschläge im Sommer würden zu einer Abnahme führen (Huwyler et al., 2012).

Verschiebung der Vegetationszonen

Durch einen Anstieg der Mitteltemperatur wird eine Verschiebung der Vegetationszonen verursacht, was sich vor allem in den Höhenstufen zeigt. Die dadurch bedingte Verlagerung des Habitats bedingt meist auch eine Verkleinerung der geeigneten Fläche, da die zur Verfügung stehende Fläche in der Höhe abnimmt. Gefährdet sind vor allem kälteliebende oder daran angepasste Arten, da ihr Gebiet sich stetig verkleinert oder lokal ganz verschwindet, wohingegen wärmeliebende Arten neue Flächen besiedeln können. Modellrechnungen zeigen zum Beispiel, dass

die Tagfaltervielfalt in Höhen ab 1200 Meter über Meer zunehmen, die Zahl der bisher in der Schweiz vorkommenden Arten in tieferen Lagen wie im Kanton Aargau hingegen abnehmen könnte. Ob die Abnahme der Artenzahl durch die Einwanderung von mediterranen Arten ausgeglichen werden kann, ist gegenwärtig unklar (Plattner und Altermatt, 2010).

Insekten Gewinner des Klimawandels

Für bestimmte Arten ergeben sich durch den Klimawandel aber auch positive Auswirkungen. So werden Insekten allgemein als die Gewinner des Klimawandels bezeichnet. Durch erhöhte Temperaturen im Sommer wird die Entwicklung sowie die Fortpflanzung verschiedener Arten beschleunigt, wodurch mehr Generationen pro Jahr auftreten als bisher. Milde Winter ermöglichen das Überleben und sichern somit das Einwandern neuer wärmeliebender Arten. Neozoen sind in vielen Fällen weniger durch einheimische Krankheiten und Bekämpfungsmassnahmen betroffen, welches zu einem unkontrollierten Wachstum der Populationen und damit zur Invasivität der Arten führen kann. Dies hat wiederum auf andere Auswirkungsbereiche einen negativen Einfluss (FBD, 2007).

Insgesamt wird davon ausgegangen, dass mobile Tierarten wie Vögel weniger vom Klimawandel betroffen sind, da eine Anpassung leichter möglich ist. Eine Gefahr besteht dann, wenn ein Habitatverlust durch Verschiebung in höhere Lagen entsteht oder eine veränderte Ressourcenlage nicht rechtzeitig angepasst werden kann. Höhere Temperaturen können für manche Vogelarten auch die Überwinterung in der Schweiz ermöglichen (FBD, 2007).

Konfliktpotenzial Klimaschutz und Biodiversitätsschutz

Erschwerend kommt in der Thematik des Klimawandels das Konfliktpotenzial zwischen Klimaschutz und Biodiversitätsschutz hinzu. So können Massnahmen zur CO_2-Bindung bzw. zu Substitution von fossilen Brennstoffen (z. B. Anpflanzen von Energiepflanzen) gerade eine Abnahme der Biodiversität mit sich bringen (vgl. FBD, 2007, S. 9).

3.9.3 Beurteilung

Abnahme der Flächen- und Artenzahl

In den letzten Jahren zeigte sich, dass die wertvollen Flächen und Lebensräume durch den wachsenden Siedlungsdruck sowie der Konkurrenz aus den Bereichen Freizeit, Land- und Forstwirtschaft bedroht sind. Dies hat zu einer schweizweiten Abnahme der Flächen- und Artenzahl geführt und wird auch in Zukunft nicht anders erwartet. Ein Trendwechsel gilt unter den heutigen Voraussetzungen als eher unwahrscheinlich (BAFU, 2012). Eine detailliertere Betrachtung zeigt, dass die Artenzahl differenziert betrachtet werden muss. So ist ein deutlicher Anstieg von nichteinheimischen Arten feststellbar. Dieser übersteigt zum Teil auch den Verlust und die Verdrängung einheimischer Arten. Allerdings ist hier eine

spezielle Gewichtung vorzunehmen. Die nicht-einheimischen Arten sind zumeist schwerpunktmässig in anderen Teilen Europas oder der Welt vorhanden und können sich aufgrund veränderter klimatischer Rahmenbedingungen oder Einschleppung durch internationalen Handel oder Tourismus in der Schweiz ausbreiten. Dort haben sie zumeist Konkurrenzvorteile durch Resistenzen gegen hier heimische Krankheiten und Schädlinge. Im Gegensatz dazu verschwinden einheimische, auf bestimmte Umweltbedingungen spezialisierte Arten völlig, da sie unter Umständen auf der Welt nirgends mehr vertreten sind (FBD, 2007; OCCC / PROCLIM, 2007).

Gefahr der Fragmentierung von Räumen

Prinzipiell ist in der Schweiz durch die grosse Höhenamplitude und die topographisch bedingten Kleinräume eine gute Voraussetzung für eine hohe Biodiversität gegeben (BAFU, 2012). Genau diese fragmentierten Räume stellen aber auch eine Gefahr dar, denn bei nicht ausreichender Vernetzung durch Klimakorridore kann eine Wanderung der Arten in besser geeignete Gebiete verhindert und somit ihr Aussterben begünstigt werden (FBD, 2007). Ein ausschlaggebender Faktor ist aber auch der zunehmende Verlust von geeigneten Böden bedingt durch Versiegelung, Verdichtung, Überdüngung und ähnlichen Veränderungen (BAFU, 2012). Wichtig für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Veränderungen ist die genetische Vielfalt der Arten. Diese bedingt inwieweit eine Anpassung an Veränderungen (phänologische, räumliche, funktionale, Interaktion) überhaupt möglich ist (UVEK und BAFU, 2011; BAFU, 2012).

4 Synthese

4.1 Übersicht über quantitative Ergebnisse

Die zusammengefassten, quantitativ analysierten Veränderungen der Risiken und Chancen in den verschiedenen Auswirkungsbereichen sind in Abbildung 18 dargestellt. Dort wo die dunklen Querbalken im positiven Bereich liegen, wird erwartet, dass sich die Chancen erhöhen bzw. die Risiken reduzieren. Liegen die dunklen Querbalken im negativen Bereich erhöhen sich die Risiken bzw. verringern sich die Chancen. Es zeigt sich, dass je nach Auswirkungsbereich die Risiken oder die Chancen überwiegen.

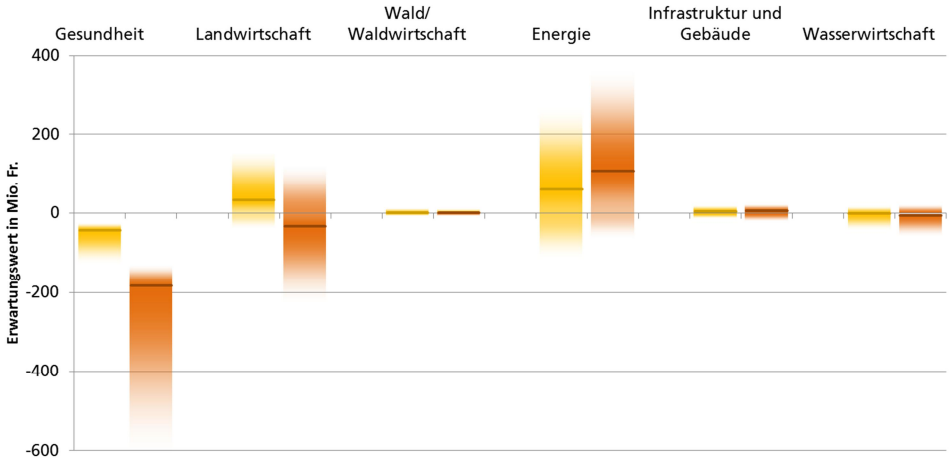


Abbildung 18
Risiken und Chancen infolge der Klimaszenarien „2060 - schwach" (gelbe Balken) und „2060 - stark" (rote Balken) als Veränderung der Summe der Erwartungswerte aller Gefahren und Effekte pro Auswirkungsbereich im Vergleich zu heute. Der dunkle Querbalken zeigt den Erwartungswert an, die sich auflösenden Balken weisen den Unschärfebereich aus.

Lesehilfe zu Unschärfebereichen

Die Veränderung der über alle Gefahren und Effekte aggregierten, mittleren, klimabedingten Auswirkungen sind mit ihrem Erwartungswert (Strich in jeder Säule) und dem Unschärfebereich des Erwartungswertes dargestellt. Damit wird transparent dargestellt, wie sicher oder unsicher die Ergebnisse der hier quantitativ abgeschätzten Klimawirkungen sind.

Die dargestellten Unschärfen beziehen sich zum einen auf die Möglichkeit der Ermittlung der heutigen Risiken und Chancen. Diese hängt u. a. von der Datenverfügbarkeit und den Möglichkeiten der Darstellung komplexer Wirkungsgefüge im Rahmen dieses Projektes ab. Zum anderen beinhalten die Unschärfen auch Unsicherheiten über die Auswirkungen der angenommenen Klimaänderung z. B. auf die Häufigkeiten und Intensitäten der klimabeeinflussten Gefahren.

Die Unschärfen wurden mithilfe eines Faktors für die einzelnen Erwartungswerte pro Auswirkungsbereich berücksichtigt. Daher sind die absoluten Unschärfen abhängig von den absoluten Beträgen der einzelnen Erwartungswerte. Dies kann zu grossen Unschärfen trotz geringer Risiken und Chancen führen, wenn vergleichs-

weise geringe Veränderungen hoher Erwartungswerte ermittelt wurden (z. B. bei der Landwirtschaft).

Grösstes Risiko bei Gesundheit: Hitzetote und Hitzebetroffene

Die grössten Risiken des Klimawandels sind im Bereich Gesundheit zu erwarten. Hitzewellen werden in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen und ohne Anpassungsmassnahmen muss hier häufiger und pro Ereignis mit mehr Todesopfern und Hitzebetroffenen gerechnet werden.

Grösste Chance bei Energie: Reduktion Heizenergiebedarf

Die grössten Chancen des Klimawandels sind im Bereich Energie zu erwarten. Hier schlägt sich die Erhöhung der mittleren Temperatur in einer deutlichen Reduktion des Heizenergiebedarfes nieder. Auch eine gleichzeitige Zunahme der Kühlung im Sommer dürfte diesen positiven Effekt nicht ausgleichen.

Uneinheitlich bei Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist der einzige Auswirkungsbereich, in dem das schwache Klimaszenario im Mittel positiv auf die Erträge wirken dürfte, das starke Klimaszenario aber zu einer Verschlechterung führen würde.

Quantifizierte Auswirkungen für andere AWB gering

Die über die Auswirkungsbereiche gemittelten, quantifizierten Auswirkungen des Klimawandels auf Wald/Waldwirtschaft, Infrastruktur und Gebäude, sowie Wasserwirtschaft sind absolut gesehen gering. Sie sind aber auch in Bezug auf die Tragfähigkeit dieser Sektoren zu beurteilen.

Auslöser: schleichende Veränderungen und Hitzewellen

Auslöser dieser Änderungen sind vor allem langsame Veränderungen der mittleren Temperatur und des Niederschlagsregimes, sowie Hitzewellen.

Sensitivitätsanalysen zu Hagel und Sturm

Sensitivitätsanalysen zu Schäden durch Hagel und Sturm haben gezeigt, dass sich dadurch in einzelnen Auswirkungsbereichen gewisse Änderungen ergeben (vgl. Ausführungen zu Landwirtschaft und Infrastrukturen/Gebäude). Das gesamte Bild der Risiken und Chancen über alle Auswirkungsbereiche ändert sich jedoch nicht wesentlich.

Szenario „2060 - schwach“ auch mit Chancen, „2060 - stark“ mit Zunahme der Risiken

Wenn man die Auswirkungen der unterschiedlichen Klimaszenarien vergleicht, sind die Risiken und Chancen im Szenario 2060 „schwache Veränderung“ eher moderat. Bei einer „starken Veränderung“ wird eine Zunahme der Risiken erwartet und – mit Ausnahme der Energie – sind in keinem Auswirkungsbereich insgesamt positive Auswirkungen zu verzeichnen.

Unschärfen sind z. T. gross

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Annahmen zum Teil grosse Unschärfen aufweisen. Es handelt sich bei den Ergebnissen nicht um Prognosen, sondern um eine möglichst realistische Abschätzung der Folgen eines Eintretens der angenommenen Klimaszenarien. Die Ergebnisse bilden somit einen realistischen zukünftigen Zustand ab.

4.2 Gesamtbeurteilung

Beurteilung der Klimafolgen für den Kanton Aargau

Tabelle 8 fasst alle erfassten Auswirkungen des Klimawandels für die beiden untersuchten Klimaszenarien zusammen. Die Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt sind darin separat dargestellt und schliesslich zu einer Gesamteinschätzung zusammengeführt. Die hier dargestellten Unschärfe-Klassen beziehen sich auf diese Gesamtbeurteilung. Sie berücksichtigen dabei auch die Unschärfen aus dem Einbezug der nicht quantifizierten Auswirkungen und sind daher nicht vergleichbar mit den Unschärfen der quantitativen Analysen (vgl. Unschärfe-Balken in den Abbildungen pro Auswirkungsbereich).

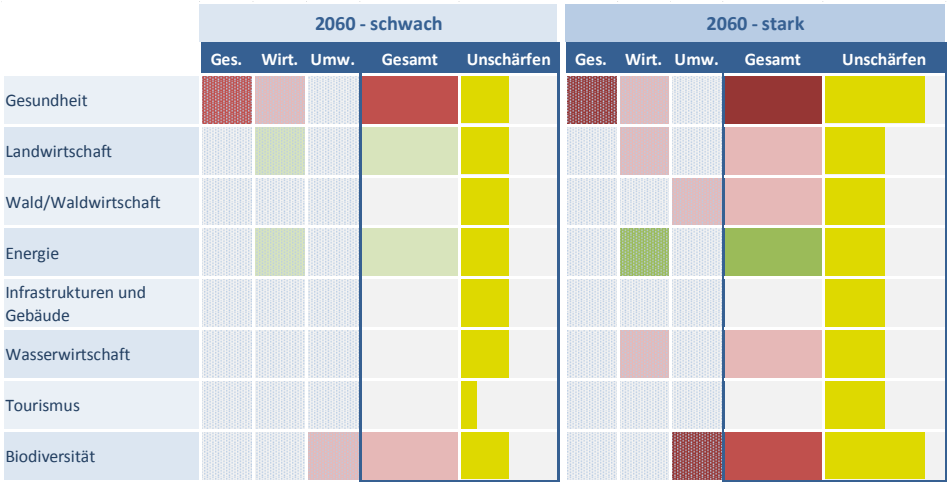


Tabelle 8
Übersicht über die zentralen Ergebnisse für den Kanton Aargau

Legende:
sehr positiv
positiv
eher positiv
gering / ambivalent
eher negativ
negativ
sehr negativ

geringe Unschärfen
mittlere Unschärfen
grosse Unschärfen

Unter Berücksichtigung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse sind die negativen Auswirkungen in den Auswirkungsbereichen Gesundheit und Biodiversität besonders relevant. Im Auswirkungsbereich Energie sind die positiven Effekte hervorzuheben. Der Klimawandel wird aber auch in den meisten anderen Auswirkungsbereichen deutlich zu spüren sein. Ausnahmen sind der Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude und der Tourismus. In diesen Bereichen gibt es keine klaren Hinweise auf deutliche Veränderungen der mittleren jährlichen Risiken und Chancen.

Quantitative und qualitative Ergebnisse: Gesundheit und Biodiversität mit grössten negativen und Energie mit grössten positiven Auswirkungen

Bei der Analyse der Auswirkungen für Wald und Waldwirtschaft wurde bereits von einer Anpassung der Baumartenverteilung hin zu angepassteren Baumarten im Rahmen der normalen Waldbewirtschaftung ausgegangen. Aus diesem Grund sind die ermittelten Klimafolgen für beide Szenarien vergleichsweise gering. Würde eine solche Anpassung nicht stattfinden, so wäre im Wald mit bedeutend gravierenderen Auswirkungen zu rechnen.

Moderate Auswirkungen im Wald aufgrund berücksichtigter Anpassung der Baumarten

Bedeutung der Ergebnisse für den Kanton Aargau: schwaches Klimaszenario mit vorerst moderaten Auswirkungen

Das Klimaszenario „2060 - schwach" führt gemäss den vorliegenden Ergebnissen zu eher moderaten Auswirkungen im Kanton Aargau. Dem Szenario liegt allerdings ein Emissionsszenario mit einer deutlichen Minderung der globalen Treibhausgas-Emissionen zugrunde, das aus heutiger Sicht als sehr optimistisch beurteilt wird.

starke Veränderung mit bereits schwerwiegenden Auswirkungen für Gesellschaft und Biodiversität

Das Klimaszenario „2060 - stark" führt bereits im Jahr 2060 zu gravierenderen Belastungen der Bevölkerung im Kanton Aargau, sofern sich der menschliche Organismus in den nächsten 50 Jahren dem wärmeren Klima nicht anpassen wird. Hitzewellen wie im Jahr 2003 würden zur Normalität mit gesundheitlichen Auswirkungen v. a. auf ältere Menschen. Als Folge der Verlängerung der Vegetationsperiode müsste auch mit einer zunehmenden Belastung von Pollen-Allergikern gerechnet werden. Auch im Bereich Biodiversität muss bei diesem Szenario bis 2060 mit problematischen Entwicklungen durch eine Veränderung der Ökosysteme gerechnet werden.

Gewinner und Verlierer des Klimawandels

Der Klimawandel wird zu einer Veränderung der heutigen klimabeeinflussten Risiken und Chancen führen. Damit gibt es „Gewinner" (z. B. infolge abnehmender Heizkosten) und „Verlierer" des Klimawandels (z. B. Hitzebetroffene). Bei Szenario „2060 - stark" werden jedoch schon bis 2060 manche positiven Effekte einer moderaten Erwärmung (z. B. erhöhte Hektarerträge in Land- und Waldwirtschaft) wieder in negative Wirkungen umgekehrt.

Beeinflussbarkeit

Die Höhe der klimabedingten Risiken und Chancen kann wesentlich durch Anpassungsmassnahmen beeinflusst werden, die hier mit Ausnahme der Nutzung bestehender Einrichtungen oder Prozesse nicht berücksichtigt sind (vgl. 2.5). Das vorliegende Bild wird also in den meisten Bereichen nur eintreffen, wenn bis 2060 keine wesentlichen Anpassungsanstrengungen erfolgen. Bei den meisten Risiken und Chancen bestehen jedoch wirksame Anpassungsmöglichkeiten, die ergriffen werden sollten und teilweise auch schon realisiert werden. Beispiele für Anpassungsmassnahmen für die grössten Risiken und Chancen sind:

- Todesfälle bei Hitzewellen sind meist eine Folge von Überhitzung und Dehydrierung v. a. bei älteren Personen. Um dem entgegen zu wirken können z. B. in Pflegeheimen, Spitälern und zum Teil in der ambulanten Pflege Massnahmen ergriffen werden, z. B. angepasstes Raumlüftungsregime (Lüften während Nacht), Sonnenschutz und ergänzende Raumkühlung oder eine besonders aufmerksame Versorgung (z. B. mit Getränken und Pflege von älteren Leuten). Auch wird der Trend zu einer besseren Wärmedämmung zu einem besseren Hitze-Schutz in Wohngebäuden führen.

- Trockenheiten in der Landwirtschaft kann ggf. mit Bewässerung und mit dem Anbau weniger trockenheitsempfindlicher Kulturen begegnet werden.
- Die Chance des reduzierten Energieverbrauches kann vor allem dann genutzt werden, wenn die Gebäude z. B. durch geeignete Wärmedämmung, Fassadengestaltung und Gebäudetechnik nach und nach an die steigenden Temperaturen angepasst werden, so dass der zunehmende Kühlenergiebedarf begrenzt bleibt.

Auf der anderen Seite gibt es auch Risiken und Chancen, die so voraussichtlich eintreten werden, ohne dass Massnahmen dagegen ergriffen werden könnten. Dazu gehört zum Beispiel die erwartete höhere Belastung von Allergikern durch Blütenpollen.

Wichtige Aspekte bei der Beurteilung

Klimaänderung geht über 2060 hinaus

Die dargestellten Auswirkungen müssen als Vorboten einer noch gravierenderen Entwicklung in den folgenden Jahrzehnten in verschiedenen Auswirkungsbereichen interpretiert werden, da die Klimaänderung in jedem Fall fortschreiten wird. Es muss z. B. davon ausgegangen werden, dass infolge verringerter Niederschläge während der Vegetationsperiode Ackerbau ohne Bewässerung nicht mehr möglich wäre, im Wald grossflächige Schäden entstehen oder die Pegel von Fliessgewässern infolge abgeschmolzener Gletscher stark zurückgehen und mit ihnen die Wasserverfügbarkeit (vgl. BAFU 2012).

Wichtig bei Verwendung der Ergebnisse:

Auswirkungen tatsächlicher Ereignisse und Wildcards sollten berücksichtigt werden

Der Vergleich der Risiken und Chancen erfolgt hier vorwiegend anhand der mittleren jährlichen Auswirkungen (Erwartungswerte). Besonders bei Gefahren wie Hochwassern oder Stürmen, die vergleichsweise selten, dafür im Ereignisfall zu umso grösseren Schäden führen, ist dies ein theoretischer Wert. Beispielsweise ist die Zunahme der Erwartungswerte bei Gebäudeschäden infolge Hochwasser im Vergleich mit anderen Klimafolgen moderat. Im Falle eines schweren Hochwassers ist aber infolge grösserer überfluteter Flächen mit deutlich grösseren Schäden zu rechnen. Auch sind im Vergleich der Risiken und Chancen eher unwahrscheinliche, bei Eintreten aber mit schwerwiegenden Auswirkungen verbundene Ereignisse (Wildcards) nicht berücksichtigt. Beim Ableiten des Handlungsbedarfs sollten jedoch die Wildcards und bei Naturgefahren auch die Auswirkungen der dargestellten 100-jährlichen Ereignisse berücksichtigt werden.

Unterscheidung von Irreversibilitäten und Beeinträchtigungen

Die Klimaänderung führt zu qualitativ unterschiedlichen Auswirkungen: Zum einen werden irreversible Folgen erwartet, wie z. B. eine Zunahme an Todesopfern bei häufigeren und intensiveren Hitzewellen oder die Veränderung der Artenzusammensetzung. Auf der anderen Seite stehen

„weichere" Beeinträchtigungen, wie vorübergehende gesundheitliche Beeinträchtigungen. Bei der Aggregation der Auswirkungen pro Auswirkungsbereich sind diese Unterschiede zwar mitbewertet, je nach Verwendung der Ergebnisse sollten diese unterschiedlichen Qualitäten der Auswirkungen aber nicht unbeachtet bleiben.

Belastbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse stützen sich auf die heute vorliegenden Kenntnisse und auf Abschätzungen, die auf möglichst plausiblen und mit Fachleuten abgestimmten Annahmen beruhen. Es handelt sich aber um einen Blick 50 Jahre in die Zukunft, mit entsprechenden Unsicherheiten und Unschärfen bezüglich der angenommenen Entwicklung.

4.3 Empfehlungen

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Analyse werden folgende Empfehlungen gemacht:

Weiterentwicklung des Kenntnisstandes

Vertiefte Analyse einzelner Aspekte

Bei einzelnen Klimafolgen wird eine vertiefte Analyse empfohlen, um den Handlungsbedarf auf ausreichend belastbare Erkenntnisse zu stützen. Dies betrifft vor allem folgende Aspekte:

- Mögliche Gewöhnung der Bevölkerung an die höheren Temperaturen: Die hier ermittelten Belastungen der Bevölkerung durch Hitze geht vom heutigen Hitzeempfinden aus. Es sollte vertieft analysiert werden, ob und wenn ja wie stark sich das Hitzeempfinden der Bevölkerung an die höheren Temperaturen anpasst.
- Wirkung einer längeren Vegetationsperiode auf Allergiebeschwerden: Bei verschiedenen Pflanzen wird von einer Verlängerung der Blühzeiten ausgegangen. Eine differenzierte Analyse der Veränderungen der Blühzeiten und der daraus hervorgerufenen Beschwerden bei Allergikern steht aber noch aus.
- Klimawandelfolgen für den Wald: Bei der Bewertung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen sind die Verjüngungskosten zur Anpassung der Baumartenzusammensetzung bisher nicht berücksichtigt, da diese über einen längeren Zeitraum anfallen und im Jahr 2060 selbst voraussichtlich nicht massgeblich sind. Möglichkeiten zur Berücksichtigung dieser Kosten und einer Quantifizierung der Folgen für Ökosystemleistungen sollten geprüft und wenn möglich umgesetzt werden.

Neubeurteilung bei Vorliegen massgeblicher neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse

Die Forschung wird in den nächsten Jahren weitere Erkenntnisse gewinnen, mit denen verschiedene Zusammenhänge besser beurteilt werden können und getroffene Annahmen überprüft und ggf. angepasst werden sollten. Eine Neubeurteilung wird dringend empfohlen, wenn massgebliche neue Erkenntnisse zur Entwicklung der Niederschläge und deren saisonale Verteilung vorliegen. Im Bereich der Landwirtschaft und des Auswirkungsbereiches Wald/Waldwirtschaft wird eine Neubeurteilung empfohlen, sobald weitere Erkenntnisse zu den Erträgen pro Kultur bzw. Zuwächsen pro Baumart unter veränderten klimatischen Standortsbedingungen vorliegen, z. B. aus dem laufenden Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel" des Bundesamtes für Umwelt und der Eidg. Forschungsanstalt WSL.

Verwendung der Ergebnisse im Kanton Aargau

Aktiv Chancen nutzen und Risiken reduzieren

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass in verschiedenen Bereichen bedeutende Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten sind. Mit einer vorausschauenden Planung können Chancen genutzt und Risiken reduziert werden. Da sich der Klimawandel und dessen Auswirkungen nicht an räumlichen oder thematischen Grenzen hält, sollte der Kanton hier aktiv die Verantwortung suchen und mit betroffenen Departementen und Akteuren folgende Arbeiten angehen:

Vorgehensempfehlungen

- Verbreiten der Erkenntnisse in den betroffenen Departementen und Abteilungen, damit diese sie in ihrer Arbeit berücksichtigen können,
- Definieren einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel mit Festlegung der Verantwortlichkeiten bei der Umsetzung
- Ermitteln des Handlungsbedarfs seitens des Kantons aber auch seitens von Gemeinden
- Ermitteln und Bewerten von Handlungsoptionen
- Erste Massnahmen auf den Weg bringen

Möglichkeit des Mainstreaming

In verschiedenen Bereichen, in denen die Berücksichtigung der Anpassung von besonderer Bedeutung ist (z. B. in Stadtplanung und bei Genehmigungsprozessen im Gebäudebereich), kann eine systematische Integration von Klimaanpassung in Prozesse, Planung und Politikgestaltung (Mainstreaming) erfolgversprechend sein. So wird die Anpassung zu einem permanenten Prozess.

Klären der Zuständigkeit im Thema Klimaschutz und -anpassung in der Kantonsverwaltung

In der kantonalen Verwaltung sollte die Zuständigkeit für die Themen Klimaschutz und -anpassung geklärt und kommuniziert werden. Da es sich um ein Querschnittsthema handelt, sind die Zuständigkeiten in Verwaltungen häufig stark zersplittert und es fehlt ein Hauptansprechpartner, der gemeinsame Aktivitäten koordiniert, z. B. bei der Entwicklung

einer Anpassungsstrategie. Möglich ist beispielsweise die Bildung einer interdepartemental organisierten Arbeitsgruppe zur Klimaanpassung. Auch sollte dabei geprüft werden, ob einzelne Gemeinden einbezogen werden sollten.

Grundlagen nutzen

Neben der vorliegenden Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen für den Kanton Aargau liegen bereits verschiedene andere Grundlagen vor, die bei der Anpassung im Kanton berücksichtigt werden sollten. Beispielsweise wurden durch das Departement Bau, Verkehr und Umwelt bereits verschiedene Handlungsfelder identifiziert (BVU 2009a).

Prüfung von Anpassungsmassnahmen auf Wirksamkeit bei sozioök. und demographischem Szenario

Bei der Planung von Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, sollten die sozioökonomischen und demographischen Entwicklungen ebenfalls berücksichtigt werden. Sozioökonomische Veränderungen beeinflussen nicht zuletzt auch die Wirksamkeit von Anpassungsmassnahmen. Das im Anhang dargestellte sozioökonomische und demographische Szenario und die durch das Szenario veränderten Risiken und Chancen (vgl. detaillierte Analyse der Auswirkungsbereiche im Anhang) können als Grundlage für eine Abschätzung dienen, ob die Massnahmen auch unter veränderten sozioökonomischen und demographischen Bedingungen geeignet sind.

Prioritär No-Regret-Massnahmen umsetzen

Wenn konkrete Anpassungsmassnahmen geplant werden, können zunächst sogenannte No-Regret- oder Low-Regret-Massnahmen im Vordergrund stehen, die neben dem Anpassungs-Nutzen weitere gesellschaftliche Nutzen haben, die ihre gesellschaftlichen Kosten ausgleichen oder übersteigen bzw. zumindest zu erheblichen Teilen kompensieren (z. B. durch Wärmedämmung bei Gebäuden zur Reduktion des Energieverbrauchs oder die Schaffung von Schutzgebieten zur Unterstützung der Biodiversitätsziele).

Felder der Anpassung

Dort wo langfristig wirksame Entscheidungen zu treffen sind, sollten schon heute die beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt werden. So lassen sich folgende Felder der Anpassung formulieren, auch wenn die Anpassung nicht Gegenstand des Projektes war:

Energie

Geeignete Massnahmen zum Stärken der Chance einer Reduktion des Heizenergieverbrauches sind wärmetechnische Sanierungen im Gebäudebestand und ein hoher diesbezüglicher Standard bei Neubauten. Dies führt auch zu einem geringen Kühlbedarf bzw. effizienter Kühlmöglichkeiten und wirkt damit auch positiv auf die Gesundheitsfolgen von Hitzewellen.

Gesundheit

In der Stadtplanung kann dem Wärmeinseleffekt begegnet werden, indem ausreichend horizontale und vertikale Grünflächen sowie Durchlüftungskorridore beibehalten bzw. geschaffen werden. Im Gebäudebestand und bei Neubauten können verschiedene Massnahmen zu einer Begrenzung der hitzebedingten Gesundheitsbelastungen ergriffen werden, z. B. schattenspendende Fassadengestaltungen, Kälte- und Hitzedämmung, effiziente natürliche Lüftung, viel thermische Speichermasse, Sonnenschutz/ Beschattung, Fenstergrösse/-ausrichtung. Es könnte geprüft werden, ob diesbezügliche Anpassungen der aktuellen Empfehlungen oder Vorschriften angemessen sind.

Wald

Um die Auswirkungen im Wald möglichst moderat zu halten, wird empfohlen bei Verjüngungsmassnahmen je nach Standort (weiterhin) auf Baumarten mit grosser Hitze- und Trockenheitsresistenz zu setzen. Damit wird häufig ein Baumartenwechsel mit entsprechenden Verjüngungsmassnahmen notwendig sein.

Infrastrukturen

Zum Schutz der Infrastrukturen sind weitere Massnahmen zur Hochwasserprävention (z. B. Schutzbauten) und im Objektschutz (auch bezüglich Sturm und Hagel) möglich. Dabei handelt es sich um Bereiche, in denen auch in den letzten Jahren bereits aktiv Massnahmen umgesetzt wurden. Ob aufgrund der erwarteten Klimaänderung weitere Massnahmen angemessen sind, sollte mit den zuständigen Fachstellen und der Gebäudeversicherung AG abgestimmt werden.

Biodiversität

Zur Erhaltung der Biodiversität ist darauf zu achten, dass der Nutzungsdruck auf wertvolle Flächen in Grenzen gehalten wird. Durch Schutzgebiete und vielfältige Lebensräume und deren Vernetzung (auch international) lässt sich ein grosser Genpool erhalten. Zudem sollte ein konsequentes Monitoring weitergeführt werden. Die Ausbreitung invasiver Arten sollte überwacht werden und wo notwendig müssen diese koordiniert bekämpft werden.

Wasserwirtschaft

Als prioritärer Anpassungsbereich wird die Aufrechterhaltung und, wo nötig, die Verbesserung der Vernetzung der Trinkwasserversorgung angesehen. Da auch der Bewässerungsbedarf für die Landwirtschaft zunehmen wird, wird empfohlen, entsprechende Bewässerungskonzepte unter Berücksichtigung der ökologischen Anforderungen an Oberflächen- und Grundwasser zu entwickeln. Vor dem Hintergrund der Wasserkraftnutzung und der veränderten Abflussregime sollten zudem vorhandene Bestimmungen der Restwassermengen überprüft werden.

Landwirtschaft

Es ist darauf zu achten, dass landwirtschaftliche Kulturen gefördert werden, die gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels resistent und ertragsstark sind. So können z. B. frühreife, tief wurzelnde Arten für zu-

verlässigere Ernten sorgen. Invasiven Schadorganismen sollte mit geeigneten Bekämpfungsmassnahmen begegnet werden.

5 Literatur

AGDFR 2010 a: Bestockte Waldfläche und Holzangaben nach Eigentümer, Departement Finanzen und Ressourcen, Statistik Aargau.

AGDFR 2010 b: Waldflächen, Zusammensetzung des Waldes im Kanton Aargau und seinen Bezirken, Departement Finanzen und Ressourcen, Statistik Aargau.

BAFU (Hrsg.) 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.

BAFU 2012: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wasserwirtschaft. Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates. Bern.

Bundesamt für Statistik 2010: Forstwirtschaft der Schweiz, Taschenstatistik, Bundesamt für Statistik, 2010

BFS Bundesamt für Statistik 2011: Arealstatistik 1979/85, 1992/97, 2004/09: Entwicklung der Bodennutzung und –bedeckung in den Kantonen nach 4 Hauptbereichen (Standard). Neuchâtel. URL: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/03/blank/key/01/zustand_und_entwicklun g__tabelle.Document.87944.xls

BVU und AVA 2007: Leitbild Wasserversorgungen Aargau. Bericht. Departement Bau, Verkehr und Umwelt und Aargauisches Versicherungsamt (Feuerwehrwesen), Kanton Aargau.

BVU 2009a: Auswirkungen des Klimawandels auf die Aufgabenbereiche des BVU. Statusbericht. Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aargau.143 S.

BVU 2009b: Zweiter Bericht Nachhaltige Entwicklung im Kanton Aargau. Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aargau.102 S.

BVU 2007: Bericht zur Entwicklung des Waldes im Aargau. waldentwicklungAARGAU. Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald. 76 Seiten.

BVU 2010: Waldinventar Aargau. Ergebnisse der Stichprobenaufnahmen. Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald. 100 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2012. Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Pro-

jekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bern, 2012

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. Bundesamt für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013a: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Anhang zum Fallstudienbericht. Bundesamt für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013b: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Methodenbericht. Bundesamt für Umwelt, Bern.

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Unveröffentliche Arbeitsdokumentation zur Fallstudie Kanton Aargau. Bundesamt für Umwelt, Bern.

FBD 2007: Hotspot - Biodiversität und Klimawandel. Biodiversität: Forschung und Praxis im Dialog. Forum Biodiversität Schweiz, Bern

Finger, R., Lazzarotto, P., Calanca, P. 2010: Bio-economic assessment of climate change impacts on managed grassland production, Agricultural Systems, 103(9), 666-674.

Fischer, A.; Croci-Maspoli, M., Scherrer, S.; Liniger, M. 2012: Combined Changes of Temperature and Precipitation in the Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Zurich, Switzerland, 9 S.

Huwyler, S., Plattner, M. und Roth, T. 2012: Hotspots der Tagfalterdiversität. BDM-Facts, Nr. 5, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 5 S.

Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt 2012: Fruchtfolgeflächen. URL: https://www.ag.ch/de/bvu/raumentwicklung/grundlagen/raumbeobachtung/fruchtfolgeflaechen/fruchtfolgeflaechen_1.jsp (abgerufen: 17.04.12).

Landwirtschaft Kanton Aargau (LWAG) 2012: Landwirtschaft Kanton Aargau. Zahlen und Fakten. Faltblatt. www.ag.ch/landwirtschaft, Zugriff 13.12.2012.

MeteoSchweiz 2013: Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht, Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.

OCCC / PROCLIM 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern

Plattner, M. und Altermatt, F. 2010: Klimaerwärmung verändert die Vielfalt. Spezialauswertung Talfalter. BDM-Facts, Nr. 1, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 3 S.

Regierungsrat AG 2009: Zweiter Bericht Nachhaltige Entwicklung im Kanton Aargau, Regierungsrat des Kantons Aargau (Herausgeber), 2009

Robine et al. 2007: J. M. Robine, S. L. Cheung, L. Le Roy, H. Can Oyen, F. R. Herrmann, Report on excess mortality in Europe during summer 2003, EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114

Umweltbundesamt (UBA) 2013: KomPass Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung. Klimafolgen und Anpassung im Bereich Landwirtschaft. http://www.anpassung.net/cln_349/nn_700470/DE/Fachinformationen/KlimaFolgenAnpassung/Landwirtschaft/landwirtschaft__node.html?__nnn=true, letzter Zugriff 29.5.2013.

UVEK und BAFU 2011: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Biodiversitätsmanagement. Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, energie und Kommunikation; Bundesamt für Umwelt, Bern.

Wenkel, K.O., Mirschel, W., Berg, M., Nendel, C., Wieland, R. und Köstner, B. 2011: Klimawandel. Fluch oder Segen für die Landwirtschaft. Was die LandCaRe-Simulationen sagen. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) Forschungsreport, 2, 2011, 4-8.