

Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz: Regionale Fallstudie Kanton Basel- Stadt

Teil des Projektes zu klimabedingten Risiken und Chancen im Grossraum „Grosse Agglomerationen“ an Hand der Kantone Basel-Stadt und Genf

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
Zürich, 22. Juni 2015



Impressum

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

INFRAS AG (Projektverantwortung)

Binzstrasse 23

8045 Zürich

Telefon +41 44 205 95 95 / zuerich@infras.ch / www.infras.ch

Egli Engineering AG

Bogenstrasse 14

9000 St. Gallen

Telefon +41 71 274 09 09 / info@naturgefahr.ch / www.naturgefahr.ch

Autoren

Jürg Füssler, INFRAS (Projektleiter)

Mario Betschart, INFRAS

Bettina Schächli, INFRAS

Kapitel: Gesamtbeurteilung und Synthese, Klimaszenarien, Gefahren und Effekte Teil Intensivniederschläge, Sozioökonomische und demographische Szenarien, Auswirkungsbereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Energie exkl. Wasserkraft, Tourismus, Biodiversität

Thomas Egli, Egli Engineering AG (Projektleiter Stellvertreter)

Luca Mini, Egli Engineering AG

Kapitel: Gefahren und Effekte exkl. Intensivniederschläge, Auswirkungsbereiche Waldwirtschaft, Energie Teil Wasserkraft, Infrastruktur und Gebäude)

Begleitung

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

(BAFU), Franziska Schwager (Kanton Basel-Stadt, AUE, Abteilung Koordinationsstelle Umweltschutz)

Hinweis

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

Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

Quelle Titelbild: ZVG

Dank

Diese multidisziplinäre Studie konnte nur dank der Zusammenarbeit mit verschiedensten Akteuren erarbeitet werden. Wir danken dem Bundesamt für Umwelt BAFU für das Vertrauen und die gute Zusammenarbeit, der kantonalen Verwaltung von Basel-Stadt für ihre Offenheit und die gute fachliche Unterstützung, MeteoSchweiz für die Bereitstellung von Klimainformationen, dem Interdepartementalen Ausschuss Klima für ihre fachkundigen Inputs sowie allen unten aufgeführten Reviewern, Experten und Datenlieferanten für ihr Korreferat des Berichtsentwurfes, die wertvollen Hinweise und Kommentare sowie die Erlaubnis zur Nutzung verschiedenster Datenquellen.

Andreas Flück (Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt), Carla Gross (BAFU), Christian Küchli (BAFU), Christian Mathys (Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt), Damiano Urbinello (Swiss TPH), Dieter Saha (Schweizerische Rheinhäfen), Dominik Amrein (Amt für Umwelt und Energie), Eberhard Parlow (Universität Basel), Elias Zubler (MeteoSchweiz), Erik Rummer (IWB), Franziska Schwager (Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt), Gian-Reto Walther (BAFU), Goldstein Beat (BFE), Hans-Ruedi Moser (Lufthygieneamt beider Basel), Jérôme Wider (BAFU), Mark Lini-ger (MeteoSchweiz), Markus Sommer (Amt für Umwelt und Energie), Martin Barben (BAFU), Martin Hofmann (Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt), Martina Zoller (BAFU), Melanie Butterling (ARE), Mirica Scarselli (Amt für Umwelt und Energie), Pamela Köllner (BAFU), Paul Filliger (BAFU), Paul Svoboda (Amt für Umwelt und Energie), Peter Blumer (Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt), Robert Neher (Amt für Umwelt und Energie), Roland Hohmann (BAFU), Sascha Jäger (Kraftwerk Birsfelden), Sascha Pfändler (IWB), Silvan Aemisegger (Planungsamt Kanton Basel-Stadt), Simona Dematte (Kantonspolizei Basel-Stadt), Thomas Meier (Hardwasser AG), Thomas Probst (BAFU), Ural Tufan (Gesundheitsdienst Basel-Stadt), Yvonne Reisner (Stadtgärtnerei Kanton Basel-Stadt).

Inhalt

Impressum	2
Inhalt	4
Glossar	7
1. Gesamtbeurteilung und Synthese	9
1.1. Zum Ansatz dieser Studie	9
1.2. Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse	10
1.3. Zusammenfassung der Risiken und Chancen	12
1.4. Anpassungsstrategie des Bundes	19
1.5. Umgang mit Unsicherheiten und Einordnung der Studienresultate	22
Literatur Kapitel 1	25
2. Die Fallstudie Kanton Basel-Stadt	27
2.1. Hintergrund der Studie	27
2.2. Kurzbeschreibung der Fallstudienregion	28
2.3. Ausgangslage im Kanton Basel-Stadt	29
Literatur Kapitel 2	31
3. Vorgehen und Elemente der Analyse	33
3.1. Übersicht zum Vorgehen	33
3.2. Analyse qualitativer und quantitativer Informationen	36
3.3. Systematische Berücksichtigung von Unschärfen	39
3.4. Unterschiede zur Methodik der Fallstudien Aargau und Uri	42
Literatur Kapitel 3	45
4. Szenarien Basel-Stadt und resultierende Gefahren und Effekte	47
4.1. Klima heute und Klimaszenarien	47
4.2. Ableitung von Gefahren und Effekten aus den Klimaszenarien 2060	55
4.3. Sozioökonomisches und demographisches Szenario	62
Literatur Kapitel 4	66
5. Risiken und Chancen des Klimawandels um 2060 pro Auswirkungsbereich	67
5.1. Schwerpunkte der Analyse	67
5.2. Auswirkungsbereich Gesundheit	68
5.3. Auswirkungsbereich Energie (Erzeugung und Verbrauch)	98
5.4. Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude	121
5.5. Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft (Ver- und Entsorgung)	131
5.6. Auswirkungsbereich Biodiversität und Grünflächen	137
5.7. Überblick der Auswirkungen pro Auswirkungsbereich	151

Literatur Kapitel 5	154
Anhang	165

Glossar

Eistage [Tage]	Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur kleiner als 0° Celsius
Monatsmitteltemperatur [°C]	Monatsmittel der Temperatur
Frosttage [Tage]	Anzahl Tage mit einer Minimumtemperatur kleiner als 0° Celsius
Frostwechseltage [Tage]	Anzahl Tage bei der die Minimumtemperatur kleiner als 0°C und die Maximumtemperatur grösser als 0°C ist
Heizgradtage [Kd]	Summe der täglich ermittelten Differenzen zwischen einer angestrebten Raumlufttemperatur von 20°C und der mittleren Tagestemperatur aller Heiztage
Heiztage [Tage]	Anzahl Tage mit Mitteltemperatur kleiner als 12°C ($HT_{20/12}$)
Hitzetage [Tage]	Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur grösser oder gleich 30° Celsius
Hitzewelle	Periode von mindestens sechs aufeinanderfolgenden Tagen zwischen Mai bis September mit Maximaltemperaturen, welche das 90zigste Perzentil der lokalen Maximaltemperaturen der Referenzperiode (1981-2010) übersteigen
Hitzewellentage [Tage]	Anzahl Tage pro Jahr die einer Hitzewelle zugeordnet werden.
Intensivniederschläge	Starkniederschläge oder Dauerregen
Kältewelle	Periode von mindestens sechs aufeinanderfolgenden Tagen von November bis März mit Minimaltemperaturen, welche das 10te Perzentil der lokalen Minimaltemperaturen der Referenzperiode (1981-2010) unterschreiten.
Kühlgradtage [Kd]	Summe der Differenzen zwischen der Tagesmitteltemperatur und der Referenztemperatur von 18.3°C
Kühltage [Tage]	Anzahl Tage mit Mitteltemperatur grösser als 18.3°C
Niederschlagsmengen [mm]	Niederschlagssummen in mm
Niederschlagsregime	Das Niederschlagsregime charakterisiert die Niederschläge (Intensität, Dauer, Menge und zeitliche Verteilung) an einem bestimmten Ort
Niederschlagssummen in 24h	Summe aller Niederschläge pro 24 Stunden.
Niederschlagstage [Tage]	Anzahl Tage mit 1mm oder mehr Niederschlag
Neuschneetage [Tage]	Anzahl Tage mit 1 cm oder mehr Neuschnee
Orkan	Starker Sturm von über 117 km/h, bzw. Windstärke 12
Sehr heisse Tage [Tage]	Tage mit Maximaltemperatur >35°C und Minimaltemperatur >20°C
Sommertage [Tage]	Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur grösser oder gleich 25°Celsius
Starkniederschlag	Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. Typische Schwellwerte sind Niederschlagsmengen $\geq 10\text{mm}/1\text{h}$ oder $\geq 20\text{mm}/6\text{h}$ (gemäss DWD, Wetterlexikon)
Sturm	Starker Wind von über 75 km/h bzw. Windstärke 9

Tagesniederschläge	Summe aller Niederschläge pro 24 Stunden in mm
Trockenheit	Als Mass für die Trockenheit wird in dieser Studie der Term „Trockenperioden“ verwendet und dabei wie folgt definiert: „Dauer von aufeinanderfolgenden Trockentagen (Tage mit weniger als 1mm Niederschlag), in der Masseinheit Tagen.“
Vegetationsperiode [Tage]	Tage pro Kalenderjahr zwischen dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen über 5°C und dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen unter 5°C nach dem 1. Juli

1. Gesamtbeurteilung und Synthese

1.1. Zum Ansatz dieser Studie

Die vorliegende regionale Fallstudie zu den Chancen und Risiken des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt wurde im Rahmen der Schweizweiten Klimarisikoanalysen des BAFUs als Fallbeispiel für die Grossregion grosse Agglomerationen, auf der Basis des Methodenberichts zu den Klimafallstudien (EBP/SLF/WSL 2013a) erarbeitet.

Die Methodik definiert verschiedene Auswirkungsbereiche, welche systematisch den klimabedingten Veränderungen einer Vielzahl von Gefahren und Effekten – als Sammelbegriff für auftretende Naturgefahren und direkte klimatische Veränderungen – gegenübergestellt werden. Die Auswirkungen dieser klimabedingten Veränderungen werden dabei sowohl quantitativ als auch qualitativ abgeschätzt. Die Fallstudie hat zum Ziel, die klimabedingten Risiken und Chancen aufzuzeigen und nach Möglichkeit die zu erwartenden zusätzlichen Kosten oder Erträge zu quantifizieren. Qualitative Aspekte und Analysen werden im Rahmen der angewandten Methodik mit Hilfe von Experteneinschätzungen und wissenschaftlicher Literatur in Relation zu den quantifizierten Kosten und Erträgen gebracht. Damit wird ein ganzheitliches Bild der zu erwartenden Risiken und Chancen inklusiver einer Abschätzung der Grössenordnungen der erwarteten monetären Auswirkungen angestrebt.

Der beschriebene Ansatz wird für alle Auswirkungsbereiche gleichermassen angewandt, so dass ein einheitliches Vorgehen und damit eine gewisse Vergleichbarkeit gewährleistet ist. Zusätzlich wird auch den Unsicherheiten Rechnung getragen, indem diese in der Gesamtbetrachtung in Angaben der aggregierten Unschärfeklassen stets mitberücksichtigt werden.

Die Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen des Kantons Basel-Stadt baut auf einem einheitlichen, systematischen und transparenten Vorgehen auf. Viele Aspekte werden dabei in Form von „best estimates“ in der Studie behandelt, um ein möglichst konsistentes Gesamtbild der zukünftigen Risiken und Chancen anzustreben.

Zusätzlich werden für jeden Auswirkungsbereich auch noch die wichtigsten sozioökonomischen Veränderungen bis 2060 aufgezeigt, um zu verdeutlichen, dass nicht nur der Klimawandel Risiken und Chancen akzentuieren oder gar neue Risiken und Chancen schaffen kann, sondern auch andere Einflüsse zusätzliche zukünftige Herausforderungen mit sich bringen.

Die vorliegende Studie hat somit nicht primär das Ziel, die exakten Frankenbeträge für die einzelnen Risiken und Chancen für den Zeithorizont um 2060 zu eruieren. Vielmehr sollen die klimabedingten Auswirkungen zwischen den Auswirkungsbereichen in ihrer Grössenordnung korrekt eingeschätzt werden, damit eine solide Grundlage für die Diskussion rund um Anpassungsmassnahmen geliefert werden kann.

1.2. Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse

Die Fallstudie des Kantons Basel-Stadt untersucht die um das Jahr 2060 zu erwartenden Risiken und Chancen, die sich durch veränderte klimatische Bedingungen ergeben.

Die Resultate zeigen in welchen der betrachteten Auswirkungsbereiche potentiell grosse klimabedingte Veränderungen zu erwarten sind und wo aufgrund der heutigen Datenlage und des heutigen Kenntnisstands nur vage Aussagen zur möglichen Entwicklungen gemacht werden können. Zu jedem der Auswirkungsbereiche identifiziert die Fallstudie die wichtigsten Gefahren und Effekte und leitet auf der Basis transparenter, aber stark vereinfachender Annahmen quantitative Schätzwerte der erwarteten möglichen Risiken und Chancen ab (dokumentiert in Kapitel 3 und 4). Gleichzeitig werden diejenigen Risiken und Chancen beschrieben, welche aufgrund ihrer komplexen Wirkungszusammenhänge und fehlender Datengrundlagen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht quantifiziert werden können, und ihre Wirkungsketten werden qualitativ analysiert.

Die Studie erfasst die verschiedenen Auswirkungsbereiche (Sektoren) mit der gleichen konsistenten Methode der Risikoanalyse und Quantifizierung, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Sektoren anzustreben.

Die Gesamtbeurteilung der quantitativ wie auch qualitativ erfassten Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Auswirkungsbereiche unterscheidet sowohl zwischen einzelnen Auswirkungsbereichen als auch zwischen den beiden Klimaszenarien (Abbildung 1). Die Gegenüberstellung der analysierten Risiken und Chancen des Klimawandels zeigt, dass vor allem im Bereich Gesundheit mit negativen Auswirkungen zu rechnen sein dürfte. Diese sind auf den Anstieg der hitzebedingten Mortalität und reduzierter Arbeitsproduktivität während Hitzeperioden zurückzuführen. Vergleichsweise geringe negative Auswirkungen sind durch die Zunahme im Bereich des Kühlenergieverbrauchs für Raumklimatisierung zu erwarten. Mehrkosten entstehen dabei hauptsächlich durch den Anstieg der jährlichen Kühlgradtage. Zudem ist zu erwarten, dass unter den heute geltenden Vorschriften zur Nutzung des Rheinwassers zu Kühlungs Zwecken, während Hitzeperioden die zulässige Temperaturobergrenze des Rheines rein klimatisch bedingt vermehrt erreicht wird. Hier müssen Lösungen gefunden werden. Daneben sind im Energiebereich grosse Chancen zu erwarten durch die erwartete Abnahme der Heizgradtage, die mit einer Reduktion des Heizenergieverbrauchs, der Heizkosten und der resultierenden CO₂-Emissionen verbunden sein dürften.

Neben den Auswirkungsbereichen mit quantitativ erfassten Risiken und Chancen gibt es verschiedene Bereiche, die im Rahmen dieser Studie nicht quantitativ erfasst werden konnten. Für eine vergleichende Betrachtung werden sie dabei zu den quantitativ analysierten Auswirkungsbereichen ins Verhältnis gesetzt. So können die quantitativ und qualitativ untersuchten

Auswirkungen gesamthaft verglichen werden. Im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude werden die Risiken durch Extremereignisse bei beiden Szenarien als hoch eingestuft, da diese potenziell mit sehr hohen Kosten verbunden sein können (v.a. Hagel). Im Bereich Wasserwirtschaft identifiziert die Studie ebenfalls verschiedene klimabedingte Risiken, welche aber in ihrem Ausmass deutlich geringer eingestuft werden. Für die städtische Biodiversität ergeben sich durch die klimatischen Veränderungen teilweise Chancen, aber gleichzeitig ist vor allem bei aquatischen Lebensräumen eine Verschlechterung des Zustands zu erwarten. Es ist daher gesamthaft mit negativen Auswirkungen zu rechnen.

Die Unsicherheiten werden bis auf den Auswirkungsbereich Energie als sehr gross eingestuft. In vielen Fällen beträgt die Unsicherheit mehr als 100% des Erwartungswerts der Risiken oder Chancen. Dies stellt besondere Anforderungen an die zurückhaltende Interpretation der Ergebnisse und insbesondere der Zahlen. Im Bereich Energie ist die Datengrundlage relativ gut und die Veränderung basiert auf Temperaturszenarien, welche im Vergleich zu anderen Klimaparametern relativ zuverlässig abgeschätzt werden können. In allen anderen Auswirkungsbereichen gibt es viele Risiken und Chancen, die nur qualitativ untersucht wurden oder bei denen die erwarteten klimabedingten Auswirkungen mit grosser Unsicherheit behaftet sind.

Weiter wird der Unterschied zwischen den betrachteten Klimaszenarien offensichtlich: Im Szenario eines „schwachen“ Klimawandels, bei dem sich die internationale Staatengemeinschaft auf einen ambitionierten Klimaschutz und Mitigationpfad einigt und die globalen Treibhausgasemissionen rasch und dauerhaft reduziert würden, käme es zu signifikant geringeren Risiken in allen betrachteten Auswirkungsbereichen im Vergleich zum Klimaszenario „stark“, das die Entwicklung unter der Annahme eines „business as usual“ zeigt. Das Kapitel geht im Folgenden kurz auf die wichtigsten Resultate der Studie in den betrachteten Auswirkungsbereichen ein (Abschnitt 1.3) und schliesst mit einer Betrachtung zu den Unsicherheiten und der Einordnung der Studienresultate (Abschnitt 1.5).

Abbildung 1: Erwartete Veränderung durch Risiken und Chancen des Klimawandels								
Auswirkungs- bereich	2060 Szenario schwach				2060 Szenario stark			
	Chancen	Risiken	Gesamtbilanz	relative Unschärfe	Chancen	Risiken	Gesamtbilanz	relative Unschärfe
Gesundheit								
Energie								
Infrastrukturen und Gebäude								
Wasserwirtschaft								
Biodiversität								

sehr positiv

positiv

eher positiv

eher negativ

negativ

sehr negativ

mittlere Unschärfen

grosse Unschärfen

sehr grosse Unschärfen

Erwartete klimabedingte Veränderung der Risiken und Chancen in den unterschiedlichen Auswirkungsbereichen¹ mit relativen Unschärfebereichen². Dargestellt ist das Gesamtergebnis (qualitativ und quantitativ analysierte Auswirkungen). Für die rein qualitative Analyse siehe auch Abschnitt 5.7.1.

1.3. Zusammenfassung der Risiken und Chancen

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Studie kurz zusammengefasst und in die Resultate des Klimafolgenberichts (Regierungsrat Kanton Basel-Stadt 2011) eingebettet.

1.3.1. Auswirkungsbereich Gesundheit

Im Auswirkungsbereich Gesundheit wurden zwei Aspekte im Zusammenhang mit auftretenden Hitzewellen/Hitzeereignissen quantitativ analysiert und die bis um das Jahr 2060 entstehenden Kosten quantitativ abgeschätzt: Zum einen wurde die verminderte Arbeitsleistungsfähigkeit bei auftretenden Hitzetagen mit Hilfe der Bruttowertschöpfung quantitativ abgeschätzt und zum anderen wurde für die Fallstudie Basel-Stadt auch die klimabedingten Auswirkungen auf die

¹ Klassifizierung der gesamthaften Auswirkungen: sehr positiv >200Mio. CHF, positiv 20 bis 200 Mio. CHF, eher positiv 0.5 bis 20 Mio. CHF, sehr negativ <-200 Mio. CHF, negativ -200 bis -20 Mio. CHF, eher negativ -20 bis -0.5 Mio. CHF.

² Klassifizierung der gesamthaften Unschärfen: geringe Unschärfen 0-30%, mittlere Unschärfen 30-100%, grosse Unschärfen >100%

Mortalitätsraten im Zusammenhang mit dem Auftreten von „sehr heissen Tagen“³ quantitativ untersucht. Der letzte Punkt beinhaltet zudem die getrennte Analyse der Zunahme von Sterbefällen, verursacht durch die eigentlichen heissen Temperaturen, und zum anderen die Effekte des mit den hohen Temperaturen einhergehenden Anstiegs der bodennahen Ozonkonzentrationen. Beide Aspekte führen zu mehr Aufwendungen bis um das Jahr 2060. Die quantitativen Abschätzungen wurden mit Hilfe von qualitativen Informationen ergänzt. Dabei wurde die vorgegebene Methodik zu den Fallstudien verwendet, um die qualitativen Informationen in Relation zu den quantitativen Abschätzungen zu bringen. Qualitativ durchleuchtet wurden die klimabedingten Auswirkungen infolge einer Änderung der Mitteltemperatur, einer Verminderung von Kältewellen/Kälteereignissen und die Veränderung von Hochwasserereignissen. Ergänzend wurden zudem weitere Folgen durch die Zunahme von Hitzewellen qualitativ aufgeführt und abgeschätzt. Die Veränderung der Mitteltemperatur führt zu einer Vielzahl von schleichenden Folgeveränderungen, wie die Zunahme von Infektionskrankheiten durch verdorbene Nahrungsmittel, die Zunahme neuer allergener Pflanzenarten, die Ausbreitung der Zeckenvorkommen und das Auftreten von neuen Infektionskrankheiten durch neue Stechmückenarten wie beispielsweise der Tigermücke. Die mittlere Temperaturveränderung führt daher zu zusätzlichen Mehraufwendungen. Die Abnahme der Kältewellen bis ins Jahr 2060 wurde hingegen positiv eingestuft und rührt insbesondere daher, dass die Anzahl kostenrelevanter Personenunfälle abnimmt. Die zusätzlich zu den Hitzewellen ergänzenden qualitativen Analysen fokussierten insbesondere auf hitzebedingte Herzkreislaufprobleme, Hitzschlag, Dehydrierung und Hyperthermie⁴, sowie indirekte Effekte zunehmender Pollenbelastungen. In der Summe wurden hier zusätzliche negative Effekte eruiert.

Die rein quantitativ abgeschätzten Mehrkosten infolge Hitzewellen/Hitzetagen führen bis 2060 zu mittleren jährlichen Aufwendungen von rund 157 Mio. CHF für das *Klimaszenario schwach* und 474 Mio. CHF für das *Klimaszenario stark*.

Die Summe aller qualitativen Aspekte, welche mit Hilfe der vorgegebenen Methodik in Relation zu den quantitativen Schätzungen gebracht wurde, resultiert in zusätzlichen jährlichen Mehraufwendungen. Im Vergleich zu den quantitativen Kosten könnten diese deutlich geringer ausfallen und bis 2060 zwischen 16 und 47 Mio. betragen je nach Szenario.

Die Studie rechnet somit in der Gesamtbetrachtung mit zusätzlichen Mehraufwendungen von rund 170 – 520 Mio. CHF (*Klimaszenario schwach/stark*).

Die gemachten Aussagen zu den Mehrkosten sind jedoch zum Teil mit grossen Unsicherheiten behaftet. Die Werte streuen daher stark und erreichen summiert die Bandbreite von 22

³ „sehr heisse Tage“: Tage mit Maximaltemperatur >35°C und Minimaltemperatur >20°C.

⁴ Überhitzung

Mio. bis 1.9 Mia. (lower estimate *Klimaszenario schwach* bis upper estimate *Klimaszenario stark*).

Bei den gemachten Schätzungen wurden sozioökonomische Veränderungen stets ausgeklammert. Für eine realistische und vollumfängliche Analyse im Sinne einer Gesamtbetrachtung, müssen diese jedoch für die Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Eine kurze Zusammenstellung der wichtigsten zu erwartenden sozioökonomischen Veränderungen bis zum Jahr 2060 hat ergeben, dass die Summe aller sozioökonomischen Veränderungen mindestens so hohe Mehrkosten verursachen wird, wie sie durch die klimabedingten Veränderungen hervorgerufen werden (170 – 480 Mio. CHF). Insbesondere die demographische Entwicklung (mehr ältere Leute) und die damit verbundenen Auswirkungen in Bezug auf Hitzewellen werden die klimabedingten Risiken noch verstärken. Umfangreiche quantitative Analysen und Modellierungen waren nicht Teil dieser Studie. Bei der Massnahmenplanung sind diese jedoch von entscheidender Bedeutung. In der Massnahmenplanung gilt es alle Veränderungen zu berücksichtigen.

Ein erster Vergleich mit dem Klimafolgenbericht Kanton Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011) zeigt, dass sich die in der vorliegenden Studie ausgearbeiteten Resultate mehrheitlich decken. Die relevanten klimabedingten Auswirkungen wurden ebenfalls vorwiegend im Zusammenhang mit Hitzeereignissen und den hohen Temperaturen der Sommermonate und der verminderten Luftqualität festgestellt. Die im Klimafolgenbericht aufgeführten Massnahmenansätze zur Gesundheit, Luftqualität und des Stadtklimas (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011) zielen auf die Minderung der hier analysierten Hitzerisiken ab (e.g. Hitzefrühwarnsystem des Bundes, Informationskampagnen, bauliche und stadtplanerische Massnahmen). Die Einschätzung des Klimafolgenberichts, wonach die Auswirkungen im Zusammenhang mit der Luftqualität und dem Auftreten von Hitzeereignissen nur von sekundärer Priorität sind, lässt sich durch die vorliegende Studie nicht bestätigen. Hitzeereignisse könnten gemäss den hergeleiteten Ergebnissen eines der grössten gesundheitlichen Probleme bis 2060 darstellen.

Nur durch geeignete und frühzeitig ergriffene Massnahmen, lassen sich die Folgen möglichst vermindern. Eine gute Koordination von Massnahmen auf Bundes- und Kantonsebene scheint wichtig zu sein.

1.3.2. Auswirkungsbereich Energie

Quantitativ analysiert wurden hauptsächlich der Heizenergieverbrauch und der Kühlenergieverbrauch im Bereich der Klimatisierung von Gebäuden. Absolut gesehen verursacht die Abnahme der Heizgradtage die grösste Veränderung, da sie zu einer Reduktion der jährlichen

Heizkosten von heute ca. 131 Mio. CHF auf etwa 115 Mio. CHF im schwachen Szenario respektive ca. 93 Mio. CHF im starken Szenario führt. Der Anstieg in der jährlichen Anzahl Kühlgradtage ist zwar relativ gesehen beträchtlich, aber da die heutigen Kosten des Kühlenergieverbrauchs in einer Höhe von ca. 2.9 Mio. CHF pro Jahr geschätzt werden, sind die zusätzlichen Kosten in diesem Bereich absolut gesehen vergleichsweise gering. Diese Abschätzung beruht auf der Annahme, dass sich der Kühlenergieverbrauch proportional zur Zahl der Kühlgradtage verhält. Es wird somit von der heutigen Kühlinfrastruktur ausgegangen.

Somit überwiegen im Auswirkungsbereich Energie gesamthaft gesehen die Chancen in der Grössenordnung von 15-35 Mio. CHF pro Jahr, die sich durch die erwarteten klimabedingten Veränderungen ergeben. Diese Entwicklung unterstützt somit die bestehenden Massnahmen im Bereich der Gebäudesanierung zur Reduktion des Heizenergieverbrauchs. Zudem gilt es allfällige „Rebound-Effekte“ zu verhindern. Unsicherheiten bestehen hauptsächlich im Bereich der Abschätzung des heutigen Kühlenergieverbrauchs. Zudem wird der Kühlenergieverbrauch auch stark durch die sozioökonomische Entwicklung beeinflusst. Durch die Zunahme der Hitzewellen ist beispielsweise mit einem höheren Anteil an gekühlter Gebäudefläche und einem vermehrten Einsatz von Kühlgeräten zu rechnen.

Im Bereich der Energieproduktion auf dem Kantonsgebiet wurden vor allem die Auswirkungen auf die Wasserkraftproduktion untersucht. Da über das gesamte Jahr gesehen von einer unveränderten Abflussmenge ausgegangen werden kann, sind auf der Basis der heutigen Information keine klimabedingten Produktionsveränderungen zu erwarten. Zudem ist die Energieerzeugung sehr stark durch die sozioökonomische Entwicklung beeinflusst, wie beispielsweise der Preisentwicklung oder die zunehmende Öffnung der Energiemärkte, die nur schwer abgeschätzt werden kann. Mögliche Risiken bestehen im Bereich der Energieerzeugung während Hitzewellen mit erhöhtem Kühlenergiebedarf und entsprechenden Strombedarfsspitzen. Da gleichzeitig tendenziell Niedrigwassersituationen herrschen, verschärft sich die Situation zusätzlich. Zudem ist in Zukunft davon auszugehen, dass Rheinwasser während Hitzeperioden im Rahmen der bestehenden Gesetzgebung nicht mehr oder nur noch stark eingeschränkt zu Kühlzwecken genutzt werden kann. Als Folge der abnehmenden Kühlleistung müssen zur Überbrückung andere Lösungen gesucht werden. Die Kosten aller qualitativ analysierten Auswirkungen werden im Vergleich zu den quantitativ erfassten Auswirkungen als grösser eingestuft (Kapitel 5.7.2).

Der Klimafolgenbericht des Kantons Basel-Stadt kommt im Bereich der Nutzung des Rheinwassers zu Kühlzwecken zu ähnlichen Schlussfolgerungen und empfiehlt Massnahmen im Bereich der Optimierung der Anlagen und der Wiederverwertung von Abwärme zur Reduktion des Kühlbedarfs. Es werden zudem Massnahmen wie der Ersatz des Rheinwasser mit Grundwasser sowie alternative Kühltechnologien empfohlen (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt

2011). Die erwartete Reduktion des Heizenergieverbrauchs wird im Klimafolgenbericht nur am Rande thematisiert und es erfolgte keine quantitative Analyse. Der Energieverbrauch im Bereich der Klimatisierung wurde ebenfalls nicht quantifiziert. Diesbezüglich stellt die vorliegende Studie eine ergänzende Grundlage zur weiteren Massnahmenplanung dar.

Mögliche Massnahmen zur Reduktion der erwarteten Kosten im Bereich der Klimatisierung sind bauliche und planerische Massnahmen zur Verbesserung des Raum- und Stadtklimas. Wichtig ist zudem die Sensibilisierung und Information der involvierten Fachleute im Bau- und Planungsbereich. Ausserdem ist sicherzustellen, dass es im Bereich der Elektrizitätsversorgung auch während extremen Hitzeereignissen zu keinen Versorgungsengpässen kommen kann.

1.3.3. Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Die heutigen jährlichen Schäden aufgrund von Hagel und Gewitter werden in einer Grössenordnung von 7.5 Mio. CHF geschätzt. Durch Stürme werden jährliche Schäden in einer Höhe von 1.0 Mio. CHF verursacht. Grössere hochwasserbedingte Schäden entstehen erst bei seltenen Ereignissen: Am Birsig können schon bei einem 100-jährlichen Hochwasser im Fall einer Verklausung Schäden in der Grössenordnung von 500 Mio. CHF entstehen. Bei einem 100-jährlichen Sturmereignis wird mit Schäden von 60 Mio. CHF gerechnet. Bei einem 100-jährlichen Gewitter mit Hagel und Oberflächenabfluss wird von 85 Mio. CHF Schäden ausgegangen (45 Mio. CHF durch Hagel und 40 Mio. CHF durch Oberflächenabfluss). Diese Zahlen zeigen, dass die mittleren jährlichen Schäden dazu vergleichsweise gering sind. Gleichzeitig sind die klimabedingten Veränderungen im Bereich der Extremereignisse kaum quantifizierbar, da keine belastbaren wissenschaftlichen Grundlagen vorhanden sind. Daher können für die einzelnen Szenarien oft nur qualitative Aussagen gemacht werden.

Mit Vorschriften zu hagelresistenter Bauweise könnte die Verletzlichkeit gegenüber Hagel und damit die potentiellen Schäden verringert werden. Ein grosses sowie durch die sozioökonomische Veränderung zunehmend wichtiges Schadenpotential besteht in Bezug auf das Oberflächenwasser. Als Oberflächenwasser werden Abflüsse verstanden, welche durch Starkniederschlag entstehen und zu gross sind, als dass sie von Entwässerungsanlagen aufgenommen werden könnten, und demzufolge zu Überflutungen von Strassen, Plätzen und Gebäuden führen. Die potentiellen Schäden sind einerseits stark abhängig von der baulichen Gestaltung der Gebäude, sowie andererseits von der Nutzung der Untergeschosse. Wenn Schäden durch Oberflächenwasser zunehmend auftreten sollten, würde der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen und Fachverbänden entsprechende Massnahmen prüfen. Allenfalls müssten eine Anpassung der Entwässerungsrichtlinien und weitere bauliche Schutzmassnahmen geprüft werden. In diesem Bereich sieht das Autorenteam den grössten Handlungsbedarf für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

1.3.4. Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

Im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft⁵, ist generell mit kleineren klimabedingten Risiken zu rechnen. Bei einer zunehmenden Intensität der Intensivniederschläge könnte es vermehrt zu Entlastungen in die Gewässer kommen. Die vermehrte Einleitung von ungereinigtem Mischwasser könnte zu nachteiligen Einwirkungen auf die Gewässer führen und würde kostspielige Massnahmen an der Infrastruktur der Entwässerung erfordern. Bestätigen weitere Studien diese Zunahme, würde der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen und Fachverbänden entsprechende Massnahmen prüfen.

Das für die Trinkwasseraufbereitung genutzte Grundwasser in der Langen Erlen wird erst ab einem 300-jährlichen Hochwasserereignis, welches Teile der Langen Erlen überschwemmt, verunreinigt. Temporäre Ausfälle können durch die Hardwasser AG kompensiert werden. Ein weiteres Risiko könnte bei der Trinkwasserversorgung während Niedrigwasserzeiten bestehen, da dann der Rhein höhere Schadstoffkonzentrationen aufweisen kann. Bei Überschreitung der Alarmwerte wird die Versickerung von Rheinwasser in den Langen Erlen unterbrochen. Bei temporären Unterbrechungen wird die Trinkwasseraufbereitung nicht beeinträchtigt. Aus Sicht des Trinkwasserversorgers besteht hier für den Zeitraum bis 2060 kein Risiko. Es ist zudem mit einer weiteren Erwärmung des Grundwassers zu rechnen.

Die Versorgungssicherheit bezüglich Trinkwasser kann heute sowohl während Niedrigwasserzeiten als auch bei Hochwassersituationen gewährleistet werden. Aufgrund der klimabedingten Veränderungen wird auch im Klimafolgenbericht des Kantons Basel-Stadt kein akuter Handlungsbedarf identifiziert. Die Massnahmenansätze zur weiteren Verbesserung des Schutzes vor Schadstoffeintragung, zur Erhöhung der Redundanz und die empfohlenen Massnahmen im Bereich thermischen Grundwassernutzung können diese Risiken eindämmen.

1.3.5. Auswirkungsbereich Biodiversität und Grünflächen

Chancen ergeben sich durch die erwarteten klimabedingten Veränderungen vor allem für Trockenstandorte, da die dort vorkommenden Arten gut mit ansteigenden Mitteltemperaturen und häufigeren Hitzewellen umgehen können. Problematisch ist dort einzig die Einwanderung von gebietsfremden Arten, die die ansässigen Populationen durch ein invasives Ausbreitungsverhalten möglicherweise verdrängen können.

⁵ Beinhaltet im vorliegenden Rahmen die Wasserversorgung im Siedlungsbereich (inkl. Wasserwerke), das Brauch- und Abwasserleitungsnetz und die Abwasserreinigungsanlagen. Die Rheinschifffahrt wird im Auswirkungsbereich (AWB) Infrastrukturen und Gebäude behandelt, und die Energieproduktion Wasserkraft im AWB Energie.

Weitaus schwerwiegender werden die möglichen Auswirkungen im Bereich der feuchten und aquatischen Lebensräume eingeschätzt. Die steigenden Mitteltemperaturen und die vermehrt auftretenden Hitzewellen stellen vor allem für Kaltwasserfische wie Äschen und Bachforellen eine Stresssituation dar, da nicht mehr genügend Sauerstoff verfügbar ist. Bei langanhaltenden Hitzeperioden sind vor allem strukturarme Gewässerabschnitten ohne ausreichende Beschattung dem Risiko des Fischsterbens ausgesetzt. Bei erhöhten Gewässertemperaturen steigt zudem die Mortalitätsrate von an PKD-erkrankten Fischen markant an. Weiter sind auch die aquatischen Artengemeinschaften durch die Einwanderung und invasive Ausbreitung von gebietsfremden Arten bedroht.

Wichtige sozioökonomische Entwicklungen mit Auswirkungen auf die Biodiversität sind die erwartete Ausdehnung des urbanen Raumes sowie die Verdichtung im bestehenden Siedlungsgebiet, die zu einer zunehmenden Verinselung der bestehenden Ökosysteme führen. Negative Auswirkungen haben auch die monotone Ausgestaltung und intensive Bewirtschaftung von Grün- und Freiflächen.

Der Klimafolgenbericht untersuchte im Bereich Biodiversität weitgehend ähnliche Risiken. So wurden mögliche Veränderungen der Artenzusammensetzung und die Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten diskutiert. Im Bereich Gewässerökologie wird ebenfalls ein steigendes Risiko von Hitzestress, erhöhte Krankheitsanfälligkeit und eine stärkere Bedrohung durch gebietsfremde Arten identifiziert. Bei den städtischen Grünflächen wird im Klimafolgenbericht ebenfalls von einem erhöhten Bewässerungsbedarf ausgegangen.

Im Bereich der Gewässerökologie werden vor allem Massnahmen zur Erhöhung und Erhaltung der Strukturvielfalt identifiziert, um so Rückzugsgebiete für Hitzeperioden zu schaffen. Ebenso können Massnahmen zur Beseitigung von Wanderhindernissen förderlich sein, da sie den Arten den Rückzug in kältere Gewässerabschnitte ermöglichen. Die erhöhte Strukturvielfalt bietet zudem auch Schutz für Jungfische während Hochwasserereignissen und kann die invasive Ausbreitung von gebietsfremden Arten teilweise verhindern, indem sie den ansässigen Arten einen Standortvorteil verschafft.

Bei den städtischen Grünflächen sind allenfalls gezielte Massnahmen nötig, um unter den veränderten klimatischen Bedingungen eine standortgerechte Bepflanzung sicherzustellen. Diese Massnahme fördert bei geeigneter Ausgestaltung auch die Artenvielfalt. Daher kann bei der Bepflanzung von Grünflächen immer eine möglichst naturnahe Gestaltung angestrebt werden. Zudem ist vor allem bei Grünanlagen mit grösseren Baumbeständen mit einem deutlich erhöhten Bewässerungsbedarf zu rechnen. Aufgrund der klimatischen Veränderungen besteht somit ein eher geringer direkter Handlungsbedarf. Den städtischen Grünflächen kommt aber unter den veränderten klimatischen Bedingungen eine besondere Bedeutung zu, da sie einen kühlenden Effekt auf die Umgebung ausüben und so das sich erwärmende Stadtklima positiv

beeinflussen. Daher kann auch im Bereich der Grünanlagen indirekt ein Handlungsbedarf identifiziert werden. Bauliche und planerische Massnahmen, die das Stadtklima verbessern, könnten daher gefördert werden und bei grösseren Bauprojekten könnten allfällige Auswirkungen auf das Stadtklima berücksichtigt werden.

Insgesamt identifiziert die vorliegende Studie vor allem im Bereich der Gewässerökologie Handlungsbedarf durch die erwarteten klimabedingten Veränderungen. Weiter könnte auch in Massnahmen zur Früherkennung von invasiven gebietsfremden Arten investiert werden, so dass deren Auftreten frühzeitig erkannt und eine invasive Ausbreitung eingedämmt werden kann. Aus Sicht der vorliegenden Ergebnisse scheinen die im Klimafolgenbericht erwähnten Ansätze zielführend.

1.4. Anpassungsstrategie des Bundes

Auf Bundesebene existiert bereits eine Anpassungsstrategie (BAFU 2012) mit einem umfangreichen Massnahmenkatalog (BAFU 2014). Bei der Erarbeitung einer kantonalen Strategie gilt es daher die Massnahmenplanung möglichst gut auf die des Bundes abzustimmen und vor allem auf die kantonsspezifischen Gegebenheiten einzugehen, die in der übergeordneten Strategie nicht direkt thematisiert werden. Die für den Kanton Basel-Stadt identifizierten Risiken werden daher mit den Handlungsfeldern der Anpassungsstrategie und dem Aktionsplan des Bundes (BAFU 2012) verglichen. Diese Gegenüberstellung soll einen ersten Überblick verschaffen und als Grundlage für die weitere Massnahmenplanung dienen.

Im folgenden Abschnitt werden für einzelne der identifizierten Risiken die entsprechenden Anpassungsmassnahmen auf Bundesebene aufgezeigt (BAFU 2014). Die Auswahl beschränkt sich auf ausgewählte Massnahmenbereiche, die für den Kanton Basel-Stadt besonders relevant sind.

Energie

Der Bund plant im Rahmen einer Grundlagenstudie aufzuzeigen, wie der Kühlenergiebedarf durch bauliche, technische und betriebliche Massnahmen reduziert werden kann. Weiter sind Massnahmen zur Information und Sensibilisierung der betroffenen Baufachleute vorgesehen. Um die negativen Auswirkungen des erwarteten Anstiegs des Kühlenergieverbrauchs entgegenzuwirken, will der Bund zudem Mindestanforderungen für Klimageräte und Ventilatoren definieren. Der Kanton Basel-Stadt setzt zur Erreichung des Ziels der 2000-Watt-Gesellschaft bereits heute sehr viele Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs und zur Steigerung der Energieeffizienz um. Die bestehenden Massnahmen könnten in Zukunft noch stärker auf die Gebäudekühlung ausgerichtet werden.

Gesundheit

Als Massnahme im Umgang mit der erhöhten Hitzebelastung überarbeitet der Bund die Empfehlungen zum Schutz bei langandauernden Hitzewellen. Das Risiko von vektorübertragenen Infektionskrankheiten beim Menschen wird durch Massnahmen im Bereich der Überwachung, Früherkennung und Prävention angegangen und es ist ein Monitoring von potentiell krankheitsübertragenden, gebietsfremden Stechmückenarten geplant. Die entsprechenden kantonalen Massnahmen gilt es auf die des Bundes abzustimmen.

Die im ersten Teil der Strategie des Bundesrates (BAFU 2012) definierten Handlungsfelder decken sich mit den in der vorliegenden Studie erarbeiteten Ergebnissen. Die klimabedingten Veränderungen infolge Hitze scheinen aufgrund der vorliegenden Studie für die grossen Agglomerationen grösseren Handlungsbedarf zu generieren, als die Anpassungsstrategie für die gesamte Schweiz suggeriert (Handlungsbedarf mittel).

Werden die Massnahmen der verschiedenen Bundesämter betrachtet, wie sie im zweiten Teil der Strategie des Bundesrates (BAFU 2014) aufgeführt werden, so decken diese die wesentlichen Handlungsfelder ab, die sich auch bei der vorliegenden Untersuchung der Fallstudie Basel-Stadt herauskristallisiert haben.

Aus den eruierten Risiken und Chancen für den Kanton Basel-Stadt könnte die Empfehlung abgegeben werden, dass die Massnahmen zum Schutze der menschlichen Gesundheit stets zusammen mit den Massnahmen der Raumentwicklung betrachtet und kritisch auf Ihre Gültigkeit geprüft werden sollen. Die Thematik lässt sich nicht getrennt betrachten. Nur wenn durch die Hilfe aller Massnahmen im Bereich menschliche Gesundheit und der Raumplanung die spezifischen Handlungsfelder genügend abgedeckt werden können, kann davon ausgegangen werden, dass im Sinne einer Anpassung das bestmögliche getan wird.

Infrastruktur und Gebäude

Bei der Rheinschiffahrt identifiziert auch die Anpassungsstrategie des Bundes Handlungsbedarf aufgrund der vermehrt zu erwartenden Niedrigwasserstände. Zur Aufrechterhaltung der Transportkapazität sind daher bauliche Massnahmen im Bereich der Fahrrinne vorgesehen. Die Beeinträchtigung der Schifffahrt während Hochwasserperioden wird im Aktionsplan des Bundes nicht direkt thematisiert. Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes sind jedoch eine Überprüfung der Seeregulierungsvorschriften und allgemeine Massnahmen im Bereich des Monitorings von Gefahrenprozessen vorgesehen, die die Wetter- und Abflussvorhersagen verbessern sollen. Der Kanton-Basel Stadt kann somit bei der Massnahmenplanung zur Bewältigung der identifizierten Risiken im Bereich der Rheinschiffahrt von den Massnahmen des Bundes stark profitieren.

Wasserwirtschaft

Für den Kanton Basel-Stadt sind insbesondere die Massnahmen zur Bewältigung des Interessenskonflikts zwischen Gewässerökologie und den unterschiedlichen Nutzungsansprüchen von zentraler Bedeutung. Solche Konflikte bestehen beispielsweise im Bereich der Mischwassereinleitung. Die Notwendigkeit der Anpassung von Bemessungsgrundlagen für die Siedlungsentwässerung wurde durch den Bund geprüft (z.B. im Rahmen des NFP 61 –Projektes SWIP von C. Egger, M. Maurer et al. und Folgearbeiten der Eawag). Es sind aktuell keine Anpassungen notwendig. Die Anforderungen an die Abwassereinleitung werden aktuell im Bereich Spurenstoffe angepasst. Inwiefern darüber hinaus eine Anpassung von Anforderungen an die Abwassereinleitung notwendig ist, wird der Bund in Abstimmung mit Kantonen, Fachverbänden und der Forschung fortlaufend prüfen.

Biodiversität

Der Bund plant eine Risikoabschätzung und Managementprüfung für besonders betroffene Arten und Lebensräume als Grundlage für die Planung konkreter Schutzmassnahmen. Daneben sollen wertvolle Lebensräume erhalten und gefördert werden und insbesondere sollen auch im Siedlungsbereich Standards für die Grün- und Freiflächengestaltung erarbeitet werden, welche neben der Kühlwirkung auch biodiversitätsrelevante Aspekte berücksichtigen. Zudem sind Massnahmen zur Verbesserung der Vernetzung und der ökologischen Infrastruktur geplant, insbesondere bei Lebensräumen, die auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen sind. Die Früherkennung, sowie die Prävention und Bekämpfung von invasiven gebietsfremden Arten soll zudem weiter verbessert und international abgestimmt werden.

Diese Massnahmen bilden somit für den Kanton eine gute Grundlage für die Ausarbeitung und Konkretisierung der kantonalen Massnahmen.

1.5. Umgang mit Unsicherheiten und Einordnung der Studienresultate

Um ein möglichst grosses Mass an Vergleichbarkeit der Resultate zwischen den einzelnen Sektoren der Auswirkungsbereiche in transparenter Art und Weise zu erreichen, strebt die vorliegende Studie, neben der qualitativen Betrachtung weiterer Faktoren, ein hohes Mass an Quantifizierung der erwarteten Risiken und Chancen des Klimawandels an. Diese Quantifizierung auf der Basis des heute verfügbaren Wissens über Prozesse, Modelle und Daten ist naturgemäss mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden, wie sie die Schlussresultate der Studie prägen.

Unsicherheiten in der Naturgefahrenbeurteilung

Bereits die aktuellen Aussagen zu einzelnen Naturgefahrenprozessen im Rahmen der heutigen Gefahrenbeurteilung sind in der Regel mit grösseren Unsicherheiten behaftet (+/-30% der Prozessgrösse). Die Modellierung der für die Gefahrenbeurteilung benötigten Ausgangsparameter (bspw. digitale Geländemodelle, Niederschlags-Abflussüberlegungen, Geschiebe- und Schwemmh Holzdisposition und -Transport, Modellierung der Eindringtiefen der Lufttemperaturänderung in den Fels und weitere) sind oftmals nur eine best-mögliche Abbildung der Natur – wie es der Begriff „Modell“ bereits aussagt. Es muss klar festgehalten werden, dass bereits diese Unsicherheiten grösser sein können als die erwarteten Prozess-Veränderungen aufgrund des Klimawandels.

Des Weiteren muss festgehalten werden, dass wichtige mögliche Folgen des Klimawandels die schleichenden Prozesse „Prozessverkettung“ sowie „Prozesswechsel“ sind. In der vorliegenden Studie beruht der gewählte Ansatz zur Erarbeitung der Aussagen der beurteilten gravitativen Naturgefahren (im Zeitraum um 2060) aufgrund der heute noch zu lückenhaften wissenschaftlichen Grundlagen auf einer Art „Mittelwerts-Klimatologie“. Dies vor allem deshalb, da Extremereignisse und Nichtlinearitäten von einzelnen Prozessen sowie Prozessketten nicht oder zu wenig bekannt sind. So ist zum Beispiel eine absolut belastbare Aussage zur (auch heutigen) Entwicklung von Hochwasser-, Murgang-, Lawinen- und Steinschlagprozessen nicht abschliessend möglich. Aufgrund dieser fehlenden Datengrundlage wurde stellenweise zur Beurteilung der Entwicklung des einzelnen Gefahrenprozesses im Jahr 2060 ein linearer Ansatz gewählt -im Wissen dass dieser in der natürlichen Entwicklung jedoch oftmals auch exponentiell sein kann. Die gemachten Aussagen (explizit zu abgeleiteten Prozessen) sind also stark verallgemeinert.

Einen wichtigen Ansatz zum Umgang mit diesen Herausforderungen bietet die Sicherheitsstrategie des Bundes; sie ermöglicht es, Unsicherheiten, möglichen Prozessverkettungen sowie -Wechsel zu erfassen. Aufgrund der Ereignisanalysen von vergangenen Hochwassern (u.a. Er-

eignis 2005) kommt zum Beispiel im Hochwasserschutz der Überlastfall für neue Bauwerke zum Zuge.

Wie sind die Resultate und ihre Unsicherheiten zu interpretieren?

Um eine pragmatische Quantifizierung vorzunehmen, musste in der Regel das Autorenteam selbst auf der Basis von wissenschaftlicher Literatur und Expertengesprächen die wichtigsten Wirkungs- und Prozessketten identifizieren und Schätzwerte bilden, welche dann in einem zweiten Schritt von den Experten im Sinne einer möglichen „Storyline“⁶ plausibilisiert wurden. Mit diesem Ansatz kann auf der Basis transparenter Annahmen ein qualitatives und quantitatives Gesamtbild der Risiken und Chancen gezeichnet werden. Die identifizierten beträchtlichen Lücken in Prozesskenntnissen und Datenverfügbarkeit bilden einen Ansporn für den weiteren Forschungs- und Analysebedarf (siehe unten).

Die Resultate geben eine breite Übersicht über relevante Auswirkungsbereiche und beschreiben zentrale Wirkungsketten und Prozesse, welche zu Chancen und Risiken des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt führen dürften. Sie dienen als längerfristige Orientierungshilfe für die Verwaltung und interessierte Öffentlichkeit, um eine erste Bewertung und Priorisierung bezüglich des Handlungsbedarfes zu unterstützen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, mit den Resultaten auch das Verständnis der möglichen Unsicherheiten zu kommunizieren. Die Studie stellt ein Element zur Vorbereitung auf möglicherweise künftig eintretende Situationen im Kanton Basel-Stadt sowie in weiteren Agglomerationsgebieten dar. Diese gilt es in den kommenden Jahren auf ihre Entwicklung zu beobachten, um möglichen Folgen der Klimaänderung adäquat zu begegnen. Der lange Zeitraum von 50 Jahren stellt dabei für die gängigen politischen und gesellschaftlichen Prozesse eine Herausforderung dar.

In der weiteren Verwendung der Resultate in (i) der Bewertung der Risiken, (ii) der Identifikation des Handlungsbedarfes und (iii) der Planung und (iv) Umsetzung von Anpassungsmassnahmen muss der Einbettung der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels in den sozioökonomischen Entwicklung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden: Die Analyse zeigt, dass der Einfluss der sozioökonomischen Faktoren auf die Veränderungen oft vergleichbar oder grösser ist als der der klimatischen Treiber. Der Effekt kann dabei die erwarteten Folgen des Klimawandels verstärken oder mildern. So führt beispielsweise die erwartete Bevölkerungszunahme zu einer weiteren Erhöhung der Kosten im Bereich der Klimatisierung. Hingegen können

⁶ Storylines sind die in der Regel auf der Basis von Expertenkonsultationen entwickelte Grundlagen zur Entwicklung von quantitativen Abschätzungen und Szenarien. Zum Konzept der Storylines siehe auch IPCC – *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Chapter 2.4

technologische Entwicklungen im Bereich der Energieeffizienz von Kühl- und Klimageräten die erwarteten klimabedingten Mehrkosten teilweise kompensieren.

Grosse Rolle der indirekten Folgen des Klimawandels

Für die ganze Schweiz gilt, dass bei dieser stark international ausgerichteten Volkswirtschaft der *indirekte* Einfluss des Klimawandels, z.B. auf die Wirtschaftskraft und Nachfrage wichtiger Handelspartner oder der Einfluss auf Schlüsselinfrastrukturen des Welthandels (Hafensysteme) eine grosse Rolle spielt. Er dürfte einen wesentlich grösseren monetären Einfluss auf unsere Volkswirtschaft haben, als die in dieser Studie betrachteten direkten Auswirkungen auf die Volkswirtschaft, sowohl auf nationaler Ebene wie auch auf Ebene des Kantons Basel-Stadt (siehe dazu z.B. INFRAS et al. 2007).

Schnittstelle Forschung-Öffentlichkeit und Bedarf an weiterer Forschung und Analyse

Die im Rahmen der Fallstudie erfolgte Zusammenarbeit zwischen Autorenteam, Forschern, Ämtern und lokalen Experten war sehr fruchtbar und dürfte dazu beigetragen haben, dass die Forschung die Fragestellungen der Gesellschaft und Politik betreffend den Auswirkungen des Klimawandels besser versteht und in ihre Forschungspraxis einfliessen lassen kann. Die Studie selbst zielt darauf ab, der Öffentlichkeit einen Überblick über die Anwendung der Resultate wichtiger Forschungsarbeiten im Fall des Kantons Basel-Stadt zugänglich zu machen.

Die als signifikant erkannten Wirkungsketten und Auswirkungsbereiche bedürfen der weiteren vertieften Analyse. Auch um eine spätere detaillierte Ausarbeitung von Handlungsfeldern und die konkrete Planung von Massnahmen zu unterstützen, braucht es vertiefte Kenntnisse der betrachteten Prozesse, Wirkungsketten und Daten. Die heute beschränkten wissenschaftlichen Grundlagen führen auch dazu, dass nicht oder nur schwer quantifizierbare Risiken und Chancen in der vorliegenden Studie tendenziell unterrepräsentiert sind. Gerade bei diesen Bereichen ist aber der Bedarf an weiterer Forschung und Analyse besonders ausgeprägt um eine bessere Vorbereitung auf möglicherweise eintretende Risiken sicherzustellen.

Die Fallstudie fokussiert auf den Klimawandel in der Periode um 2060. Verschiedene Publikationen weisen jedoch darauf hin, dass wirklich breite und signifikante Wirkungen des Klimawandels erst gegen Ende des Jahrhunderts oder erst im nächsten spürbar werden dürften (siehe z.B. CH2011). Zum Beispiel dürfte die Anpassung der Artenzusammensetzung der Biosphäre noch Jahrhunderte in Anspruch nehmen. Politik und Verwaltung scheinen nur beschränkt über die notwendigen Instrumente zu verfügen, um diese generationenübergreifenden Herausforderungen über so lange Zeiträume adäquat angehen zu können.

Literatur Kapitel 1

BAFU 2014: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz Aktionsplan 2014–2019 Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates. 2014

BAFU 2012: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Strategie des Bundesrates.

Infras et al. 2007: Auswirkungen des Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – internationale Einflüsse, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Ittigen.

Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011: Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.

Weitere Literatur siehe Kapitel 5.

2. Die Fallstudie Kanton Basel-Stadt

2.1. Hintergrund der Studie

Der Klimawandel ist schon heute messbar und dürfte weiter voranschreiten (vgl. CH2011 2011). In der Schweiz werden sich Umwelt, Mensch und Wirtschaft im Laufe des 21. Jahrhunderts an die sich verändernden Rahmenbedingungen anpassen müssen. Das revidierte CO₂-Gesetz⁷ trägt diesen Änderungen im Artikel 8 Rechnung, in dem der Bund beauftragt wird, Grundlagen zu erarbeiten, welche 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 wurde eine Anpassungsstrategie für die Schweiz unter Federführung des BAFU mit dem interdepartementalen Ausschusses Klima (IDA Klima HF2) erarbeitet. Die Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen bildet eine Grundlage für die nationale Anpassungsstrategie. In dieser Studie werden die relevanten Gefahren und Effekte des Klimawandels identifiziert und deren Auswirkungen auf verschiedene Wirkungsbereiche werden untersucht und bewertet. Dies ermöglicht einen sektorübergreifenden Vergleich der klimabedingten Risiken und Chancen.

Da basierend auf den Ergebnissen dieser Studie Schwerpunkte für die Anpassung bestimmt werden sollen, liegt der Fokus auf den klimabedingten Risiken und Chancen. Bei der Massnahmenplanung müssen jedoch auch sozioökonomische Veränderungen berücksichtigt werden, weswegen die Auswirkungen von demographischen und wirtschaftlichen Entwicklungen in dieser Studie qualitativ berücksichtigt werden. Bei diesen Entwicklungen sind zum Teil ähnliche oder sogar grössere Auswirkungen zu erwarten.

2.1.1. Schweizweite Analyse klimabedingter Risiken und Chancen

Die Auswirkungen der erwarteten klimatischen Veränderungen auf die betroffenen Wirkungsbereiche werden anhand von Fallstudien für einzelne Kantone in unterschiedlichen Regionen analysiert. Die Resultate dieser kantonalen Fallstudien dienen als Grundlage für eine Übertragung auf die gesamte Schweiz.

Für jeden Wirkungsbereich werden die Chancen und Risiken, welche durch den Klimawandel entstehen, untersucht und wenn möglich quantifiziert. Der Vergleich der verschiedenen Risiken zeigt auf, wo hauptsächlich Handlungsbedarf besteht und wo Schwerpunkte für die Anpassung gesetzt werden müssen. In einem Pilotprojekt (EBP/SLF/WSL 2013a) wurde eine Methode entwickelt, um Chancen und Risiken des Klimawandels transparent abschätzen und

⁷ Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz), 01.01.2013

vergleichen zu können. Sie basiert auf einer Quantifizierung und Monetarisierung der durch den Klimawandel entstehenden Auswirkungen sowie einer Abschätzung der qualitativen Auswirkungen. Nach der Erstanwendung der Methode im Kanton Aargau, welche den Grossraum „Mittelland“ repräsentiert (EBP/SLF/WSL 2013a-d) wurde sie in der Fallstudie für den Kanton Uri als Vertreter der Alpenkantone angewendet. Nach der gleichen Methodik wird nun die Fallstudie für die Agglomerationen erarbeitet, welche durch die Kantone Basel-Stadt und Genf vertreten sind. Neben dem Kantonsgebiet werden für den Kanton Genf auch die umliegenden Agglomerationen miteinbezogen („Agglomération Franco-Valdo-Genevoise“). Das gesamte Gebiet wird als Region Grand Genève bezeichnet. Diese Studie ist eine Grundlage für die Übertragung der Risiken und Chancen des Klimawandels auf den Grossraum „grosse Agglomerationen“ und leistet dabei im Rahmen der gesamtschweizerischen Analyse einen zentralen Beitrag zur Abschätzung der klimabedingten Risiken und Chancen in Siedlungsgebieten.

Parallel zur vorliegenden Studie werden weitere Fallstudien erarbeitet für das Voralpengebiet (Kanton Fribourg), die Südschweiz (Kanton Tessin) und den Alpenraum (Kanton Graubünden). Es ist eine weitere Fallstudie für den Grossraum Jura vorgesehen. Diese Fallstudien sind die Grundlage für eine gesamtschweizerische Beurteilung der zu erwartenden Chancen und Risiken durch den Klimawandel.

Da in der vorliegenden Studie die gleiche Methodik angewendet wird, wie in der Fallstudie des Kantons Aargau und Uri, wird die Methodik nicht im Detail erläutert. Wo nötig wird auf die bestehenden Studien verwiesen. Die allgemeine Beschreibung wird zum Teil aus dem Fallstudienbericht zum Kanton Aargau (EBP 2013d) zitiert.

2.2. Kurzbeschreibung der Fallstudienregion

Der Kanton Basel-Stadt liegt im Nordwesten der Schweiz und umfasst die Gemeinden Basel, Riehen und Bettingen (Abbildung 2). Die Einwohnerzahl des Kantons Basel-Stadt beträgt knapp 196'000 Einwohner⁸ im Jahr 2013. Die Bevölkerungsdichte ist mit etwa 5000 Einwohnern pro km² relativ hoch. Die Fläche des Kantonsgebiets beträgt total 37,1 km² davon sind 71% Siedlungsflächen, 12% landwirtschaftlich genutzte Flächen, 12% Wälder und 5% unproduktive Flächen (BFS 2014).

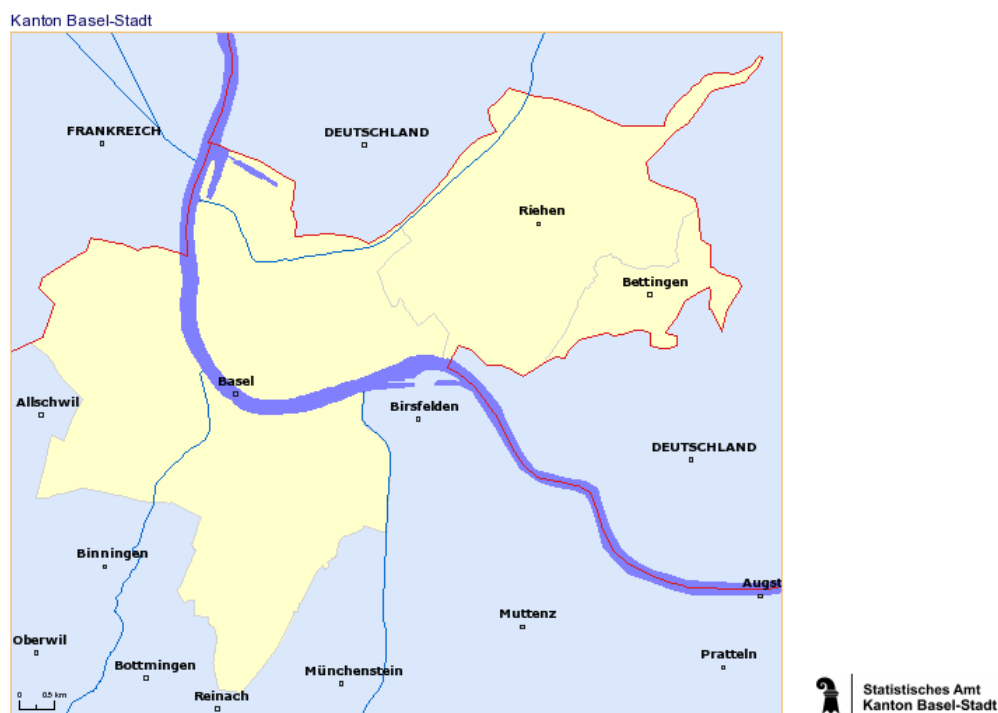
Der höchste Punkt des Kantons Basel-Stadt liegt bei 522 m.ü.M. und der tiefste Punkt auf knapp 245 m.ü.M. (Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt 2012). Anders als beispielsweise in den Fallstudien des Alpenraums oder der Voralpen sind gravitative Naturgefahren wie Erdbeben, Hangmuren und Murgänge nur von untergeordneter Bedeutung.

⁸ <http://www.statistik-bs.ch/> (15.1.2015)

Die Wirtschaft des Kantons Basel-Stadt wird dominiert durch die ansässige Chemie- und Pharmaindustrie. Neben der Chemie sind die Industriezweige Maschinenbau, Metallveredelung, Textilverarbeitung sowie die Nahrungs- und Genussmittelproduktion und weitere Branchen angesiedelt.

Mit den Schweizerischen Rheinhäfen verfügt der Kanton Basel-Stadt über einen bedeutenden Logistikstandort in Bezug auf die Schweizer Volkswirtschaft und Landesversorgung. Gemäss den Schweizerischen Rheinhäfen (2014) kommen 12% aller Schweizer Importe, ein Drittel aller Mineralölimporte, ein Viertel aller Container-Importe/Exporte über den Rhein in die Schweiz. Insgesamt laufen 40% des Schweizer Aussenhandels über die Region Basel.

Abbildung 2: Kanton Basel-Stadt mit Gemeinden



2.3. Ausgangslage im Kanton Basel-Stadt

Der Kanton Basel-Stadt hat sich in verschiedenen kantonsinternen Projekten und Studien mit dem Klimawandel und den vom Klimawandel betroffenen Bereichen befasst und damit eine solide Grundlage für die vorliegende Fallstudie geschaffen. Zu nennen sind insbesondere der „Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt“ (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011), der den Handlungsbedarf und mögliche Optionen zur Anpassung aufzeigt.

Ähnlich wie die vorliegende Studie ist der Bericht nach Auswirkungsbereichen gegliedert. Daneben gibt es verschiedene sektorspezifische Studien, welche sich mit den erwarteten Auswirkungen in einem bestimmten Teilbereich auseinandersetzen (e.g. KABA 1998). Zudem ist die Problematik des Klimawandels fester Bestandteil bestehender Strategien und Konzepte (z.B. 2000-Watt-Gesellschaft) und wird unter anderem auch an öffentlichen Podiumsdiskussionen debattiert (e.g. Kanton Basel-Stadt/OcCC/ProClim 2010). Grundlagen zu den erwarteten klimatologischen Veränderungen wurden von MeteoSchweiz in der Form einer regionalen Übersicht erarbeitet (MeteoSchweiz 2013), welche unter anderem die Auswirkungen für ausgewählte Agglomerationsgebiete beschreibt. Darunter sind auch die Regionen Genf und Basel vertreten.

Literatur Kapitel 2

BFS, 2004 / 2009: Arealstatistik 2004/09. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS 2014: Kennzahlen – Regionalporträts 2014: Kantone; Statistischer Atlas der Schweiz, Bundesamt für Statistik (BFS) Neuchâtel 2014

BFS 2010b: Kantonale Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung – Altersstruktur der Kantone 2010 – 2035. Bundesamt für Statistik – BFS, Neuchâtel.

CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88p.

EBP/SLF/WSL 2013a: Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom Juli 2011)

EBP/SLF/WSL 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013d: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

KABA 1998: Klimaanalyse der Region Basel (KABA). Arbeitsgemeinschaft KABA 1998

Kanton Basel-Stadt/OcCC/ProClim 2010: Klimawandel in Basel: Welche Herausforderungen stellen sich an die Stadt der Zukunft? Die Wissenschaft im Gespräch mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. 2. September 2010.

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

Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011: Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.

Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt 2012: Basel-Stadt in Zahlen 2012.

3. Vorgehen und Elemente der Analyse

3.1. Übersicht zum Vorgehen

In der vorliegenden Fallstudie für den Kanton Basel-Stadt werden für den Zustand heute und für zwei Klimaszenarien die Risiken und Chancen für den Zeithorizont um 2060 analysiert. Parallel dazu wird nach dem gleichen methodischen Ansatz die Fallstudie für den Kanton Genf und die Region Grand Genève erarbeitet.

Das Vorgehen zur Fallstudie „grosse Agglomerationen“ ist im Methodenbericht zur schweizweiten Analyse klimabedingter Risiken und Chancen vorgegeben (siehe EBP/SLF/WSL 2013a,b), entsprechend folgen die Methodik und die Ausführungen dieser Studie weitgehend diesen Vorgaben. Abweichungen sind im Kapitel 3.4 dokumentiert. Die Methodik wird in diesem Kapitel kurz zusammengefasst. Verschiedene methodische Aspekte werden zudem in den Kapiteln 3.2 bis 3.3 im Detail beschrieben.

Relevanzmatrix

Grundlage der Analyse ist eine sogenannte Relevanzmatrix, welche pro Auswirkungsbereich und Gefahren und Effekte des Klimawandels die Relevanz der erwarteten klimabedingten Veränderungen identifiziert und somit die Schwerpunkte der Analyse definiert (Kapitel 5.1). Als relevant werden dabei diejenigen Auswirkungen eingeschätzt, welche durch den Klimawandel stark beeinflusst werden. Potenziell grosse Auswirkungen werden daher als nicht relevant eingestuft, wenn nur geringe klimabedingte Veränderungen zu erwarten sind. Die Relevanzmatrix definiert für alle relevanten Gefahren und Effekte den Detaillierungsgrad, mit dem die Auswirkungen untersucht werden. Sie ist somit Grundlage für das methodische Vorgehen.

Gemäss der Relevanzmatrix, werden die Auswirkungen der erwarteten klimatischen Veränderungen in den verschiedenen Auswirkungsbereichen quantitativ oder qualitativ abgeschätzt. Basierend auf diesen Ergebnissen wird der anfänglich festgelegte Detaillierungsgrad neu evaluiert und gegebenenfalls angepasst. Die Erarbeitung der Relevanzmatrix erfolgt somit in einem iterativen Prozess. Die resultierende Relevanzmatrix zeigt die Untersuchungstiefe der verschiedenen Auswirkungsbereiche in Abhängigkeit der Gefahren und Effekte (Kapitel 5.1).

Klimaszenarien und Ableitung von Gefahren und Effekten

Die heute erwarteten Auswirkungen durch Gefahren und Effekte werden zunächst für jeden Auswirkungsbereich auf Basis einer Literaturrecherche zusammengestellt. Aufgrund der aus Klimamodellen abgeleiteten Informationen zu zwei möglichen Szenarien für den Zeithorizont um 2060 werden die Veränderungen spezifischer Gefahren und Effekte (gemäss Relevanzmatrix in Kapitel 5.1) abgeleitet (Kapitel 4.2). Es wird im Sinne einer stark vereinfachenden

Annahme davon ausgegangen, dass sich Auswirkungen im gleichen Ausmass verändern wie die entsprechenden Gefahren und Effekte. Eine Zusammenstellung der in dieser Studie angewandten Klimaszenarien und Klimaindikatoren findet sich im Kapitel 4.1.2.

Die Unsicherheiten in dieser Ableitung sind in der Regel sehr hoch, so dass die resultierenden Projektionen der Gefahren und Effekte im Sinne von „Storylines“ (IPCC 2007 wg2) verstanden werden müssen und keinesfalls als Vorhersagen interpretiert werden dürfen. Diese Aussagen basieren dabei weitgehend auf der vorhandenen Literatur und Expertenaussagen. In einigen Fällen musste das Autorenteam aufgrund von ungenügender Datenlage eigene Einschätzungen vornehmen. Die getroffenen Annahmen zur quantitativen Abschätzung wurden in Zusammenarbeit mit Fachexperten validiert und für die qualitativen Auswirkungen wurden unter Einbezug des Expertenwissens die Wirkungszusammenhänge untersucht.

Quantitative Analyse pro Auswirkungsbereich

Aus der Veränderung der klimabedingten Gefahren und Effekte werden die entsprechenden Auswirkungen auf die betroffenen Auswirkungsbereiche abgeschätzt (Kapitel 5.2-5.6). Dazu werden in einem ersten Schritt die heutigen Kosten und Erträge quantifiziert. Basierend auf den erwarteten Veränderungen der Gefahren und Effekte werden die erwarteten Kosten und Erträge für den Zeithorizont um 2060 ermittelt. Aus der Veränderung der Kosten und Erträge im Vergleich zum heutigen Zustand können somit für jede Kombination von Gefahr/Effekt und Auswirkungsbereich die Chancen und Risiken des Klimawandels identifiziert werden.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheit in der heutigen Datengrundlage und in der erwarteten Veränderung der Gefahren und Effekte werden die totalen Chancen und Risiken pro Auswirkungsbereich in Form einer Gesamtbilanz ermittelt (Kapitel 5.7.1). Auswirkungen, die nicht quantifiziert werden können, werden qualitativ untersucht und den Ergebnissen der quantitativen Analyse gegenübergestellt (Kapitel 5.7.2). Aus dem sektorübergreifenden Vergleich der Risiken und Chancen werden dann im Rahmen einer Synthese (Kapitel 1) diejenigen Auswirkungsbereiche identifiziert, die am stärksten vom Klimawandel betroffen sind.

Qualitative Analyse pro Auswirkungsbereich

Es muss darauf hingewiesen werden, dass für einige der Kombinationen von Auswirkungsbereichen und Gefahren/Effekten nur eine ungenügende oder keine Datenquelle für eine quantitative Analyse vorhanden war. Daher war es für das Autorenteam auch unter Einbezug von Experten nicht möglich, die erwarteten Auswirkungen abzuschätzen (z.B. AWB Infrastrukturen und Gebäude, Wasserwirtschaft). In diesen Fällen musste auf eine quantitative Darstellung der Chancen und Risiken verzichtet werden, obwohl sie potentiell signifikante Ausmasse annehmen könnten und es erfolgte stattdessen eine qualitative Abschätzung.

Sozioökonomische Szenarien

Neben den erwarteten klimatischen Veränderungen haben auch die sozioökonomischen und demographischen Entwicklungen einen starken Einfluss auf die untersuchten Auswirkungsbe-
reiche. Daher wurde auch ein sozioökonomisches und demographisches Szenario erstellt, um
die durch den Klimawandel zu erwartenden Auswirkungen in Relation zu Bevölkerungswach-
stum, Wirtschaftsumfeld und sozialen Veränderungen zu setzen. Der Fokus dieser Studie liegt
jedoch primär auf den klimabedingten Auswirkungen und daher werden die sozioökonomi-
schen Auswirkungen nur qualitativ beschrieben (Kapitel 4.3). Die Folgen der demographischen,
wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung sind jedoch ebenfalls sehr wichtig und müssen bei
der konkreten Ausarbeitung der Anpassungsmassnahmen berücksichtigt werden.

Definitionen und Begrifflichkeiten

- *Kosten und Erträge:*

Die quantifizierten Auswirkungen der Gefahren und Effekte werden als Kosten und Erträge bezeichnet. Kosten können einerseits regelmässig anfallende Kosten umfassen (z.B. Hei-
zenergiekosten, die im Mittel pro Jahr anfallenden Kosten) und andererseits können sie
Schadenskosten einzelner Ereignisse beinhalten, welche durch eine Naturgefahr verursacht
werden oder durch ein Naturereignis entstehen (z.B. Hochwasserschäden, charakterisiert
durch eine Wiederkehrperiode und ein Ausmass). Schadenskosten werden basierend auf his-
torischen Ereignissen abgeschätzt. Regelmässig anfallende Kosten und Erträge werden an-
hand der aktuellsten bestehenden Datengrundlagen abgeschätzt. Wo nicht anders angege-
ben beziehen sich die Kosten und Erträge auf das Referenzjahr 2010. Erträge sind nur im
Auswirkungsbereich Landwirtschaft von Bedeutung. Dieser wird in der vorliegenden Studie
jedoch nicht untersucht. Kosten werden immer mit negativem Vorzeichen und Erträge mit
positivem Vorzeichen aufgeführt.

- *Wiederkehrperiode:*

Der Begriff der Wiederkehrperiode steht synonym für Rückkehrperiode oder Jährlichkeit. Er
wird im Zusammenhang mit dem statistischen Auftreten von einzelnen Ereignissen verwen-
det. Ein Ereignis, das statistisch betrachtet alle 10 Jahre zu erwarten ist, hat demnach eine
Wiederkehrperiode von 10 Jahren.

▪ *Risiken und Chancen:*

In der vorliegenden Studie beziehen sich die Begriffe Risiken und Chancen auf die klimabedingte Veränderung von Kosten und Erträgen. Eine Reduktion der Kosten oder eine Zunahme der Erträge zwischen der heutigen Situation und dem Szenario 2060 werden als Chance bezeichnet. Zunehmende Kosten und abnehmende Erträge werden entsprechend als klimabedingte Risiken bezeichnet. In der Gesamtbilanz werden auch die Chancen und Risiken der qualitativ untersuchten Auswirkungen miteinbezogen.

3.2. Analyse qualitativer und quantitativer Informationen

Alle massgeblichen klimabedingten Veränderungen der Kosten und Erträge, werden soweit möglich quantitativ analysiert (Kapitel 3.2.1.). Bei relevanten Klimafolgen, zu denen die entsprechenden Datengrundlagen fehlen, werden die Auswirkungen qualitativ analysiert (Kapitel 3.2.2). In der Synthese der Chancen und Risiken werden sowohl die Ergebnisse der qualitativen Analyse als auch die der quantitativen Analyse berücksichtigt (Kapitel 1.2).

3.2.1. Quantitativ analysierte Auswirkungen

Die quantitative Untersuchung basiert soweit möglich auf bestehenden Daten oder auf Expertenschätzungen und wird mittels eines Indikatorensatzes vorgenommen (siehe Kapitel 5.2 bis 5.6 Abschnitt: „Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit“). Für Indikatoren, die nicht als monetäre Grösse erhoben werden, erfolgt gemäss Vorgaben des Methodenberichts eine Monetarisierung (EBP/SLF/WSL 2013b).

Quantifizierung der Auswirkungen

Die Auswirkungen werden anhand des jährlichen Erwartungswerts quantifiziert. Dieser entspricht den Kosten bzw. den Erträgen, die im Mittel pro Jahr zu erwarten sind. Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Auswirkungsbereiche zu gewährleisten, werden die Auswirkungen monetarisiert. Die qualitativ untersuchten Auswirkungen werden in ihrer Grössenordnung in Bezug zu den quantitativen Zahlen gesetzt (Kapitel 3.2.1).

Für die Quantifizierung der Schäden von seltenen Ereignissen, z. B. grossen Hochwassern, sind jährliche Erwartungswerte nicht aussagekräftig. Daher werden bei Gefahren, die von seltenen Einzelereignissen geprägt sind, neben den jährlichen Erwartungswerten auch die erwarteten Auswirkungen eines 100-jährlichen Ereignisses untersucht. Die berechneten Werte sind

je nach Qualität der Datengrundlage mit unterschiedlich grosser Unsicherheit behaftet⁹. Die Unsicherheit wird in Form von sogenannten Unschärfen klassifiziert. Die Methodik der Unsicherheitsanalyse wird im Kapitel 3.3 erläutert.

Die auf der heutigen Datengrundlage geschätzten, klimabedingten Auswirkungen basieren auf der Annahme, dass sich die zugrundeliegenden Prozesse und Zusammenhänge nicht verändern. Zudem wird in dieser Studie angenommen, dass sich die Auswirkungen proportional zu den Gefahren und Effekte verändern. Diese Annahmen sind jedoch nicht immer gerechtfertigt. Sowohl das Klima wie auch die klimabedingten Auswirkungen sind stark durch nichtlineare Prozesse geprägt. So können zum Beispiel bei Überschreitung eines Schwellenwerts, Auswirkungen entstehen, deren Ausmass basierend auf der heutigen Datengrundlage nicht abgeschätzt werden können. Daher sind deutlich gravierendere klimabedingte Folgen möglich. Diese Wirkungszusammenhänge werden als sogenannten Wildcards ebenfalls beschrieben. Dabei handelt es sich um eine qualitative Einschätzung von Risiken, die unter bestimmten Umständen deutlich ansteigen würden. Nichtlinearitäten können jedoch auch dazu führen, dass die erwarteten Effekte nicht oder erst später als erwartet auftreten könnten.

Aggregation der Chancen und Risiken

Die pro Gefahr und Effekt ermittelten Auswirkungen werden für jeden Wirkungsbereich auch gesamthaft ermittelt. Dazu werden die Auswirkungen der einzelnen Gefahren und Effekte für die Szenarien heute und 2060 aufsummiert. Dabei wird unterschieden zwischen Auswirkungen, die sich durch den Klimawandel negativ verändern werden (Risiken) und solche, die durch die erwarteten Veränderungen positiv beeinflusst werden (Chancen). In der aggregierten Form können dann Auswirkungen mit zu erwartenden Chancen denen mit zu erwartenden Risiken gegenübergestellt werden (Gesamtbilanz).

Aus den aggregierten Auswirkungen werden die Chancen und Risiken als Differenz zum heutigen Erwartungswert berechnet. Diese Resultate bilden die quantitative Grundlage für den sektorübergreifenden Vergleich.

Chancen umfassen einerseits Kosten, bei denen in Zukunft eine Abnahme zu erwarten ist, sowie Erträge, die im Vergleich zu heute zunehmen könnten. Die Veränderungen mit umgekehrtem Vorzeichen werden entsprechend als Risiken betrachtet. In der Gesamtsynthese werden zudem die qualitativ untersuchten Chancen und Risiken berücksichtigt. Es ist jedoch zu

⁹ In vielen Fällen ist eine Quantifizierung des 100-jährlichen Ereignisses aufgrund der heutigen Datengrundlage nicht möglich. Da für die unterschiedlichen Auswirkungen keine einheitlichen Zeitreihen vorhanden sind, werden sowohl die jährlichen als auch die 100-jährlichen Erwartungswerte aus den jeweils verfügbaren Daten geschätzt. Daher basieren sie je nach Wirkungsbereich und Effekt auf unterschiedlich langen Zeitreihen.

beachten, dass sich unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, welche in vielen Fällen grösser als die abgeschätzte Veränderung ausfallen können, die erwarteten Chancen zu Risiken entwickeln können und umgekehrt.

Sensitivitätsanalysen

Einzelne Gefahren und Effekte lassen sich im Zusammenhang mit den klimatischen Veränderungen nicht für die Zukunft abschätzen. Dazu gehören typischerweise kleinräumige atmosphärische Erscheinungen wie Hagel, Sturmwinde oder Gewitter genereller Art. Da jedoch diese Gefahren und Effekte expliziter Bestandteil der Analyse sind, werden sie anhand einer Sensitivitätsanalysen untersucht. Dabei werden zu den heutigen bekannten Kosten (oder Erträgen) Änderungen von +50% und -50% addiert, respektive subtrahiert. Dies erlaubt zumindest einzelne Gefahren und Risiken als ernstzunehmende mögliche Risiken oder Chancen für den Zeithorizont um 2060 zu eruieren, so dass deren zukünftiges Schadenpotenzial in der Fallstudie nicht unterschätzt wird.

3.2.2. Qualitativ analysierte Auswirkungen

Da für viele Bereiche zum heutigen Zeitpunkt keine genügende Datengrundlage für eine quantitative Analyse der Auswirkungen zur Verfügung steht, können entsprechend keine erwarteten Kosten oder Erträge beziffert werden. Solche Auswirkungen sind jedoch nicht zu vernachlässigen, da sie in einer ähnlicher Grössenordnung liegen können wie die quantifizierten Chancen und Risiken. Um die potentiellen Auswirkungen der qualitativ untersuchten Chancen und Risiken in die Gesamtbilanz zu integrieren, werden die qualitativen Auswirkungen klassifiziert und zu den quantitativen ins Verhältnis gesetzt. Für jeden Wirkungsbereich werden die qualitativen Auswirkungen gesamthaft als deutlich geringer, geringer, vergleichbar, grösser oder als irrelevant eingestuft (siehe Tabelle 1) und mit einem entsprechenden Faktor beziffert (5.7.2).

Diese Faktoren definieren den Anteil der qualitativen Auswirkungen an den quantifizierten Chancen und Risiken. Basierend auf dieser Grundlage können dann die gesamthaften Chancen und Risiken berechnet werden. Der Faktor wird sowohl für die Risiken als auch für die Chancen definiert und die Gesamtbilanz ergibt sich aus der Summe der Risiken und Chancen. Die qualitative Abschätzung der Auswirkungen fliesst mit diesen Faktoren in die Gesamtbetrachtung in der Synthese in Kapitel 1 ein.

Tabelle 1: Einordnung qualitativer Einschätzungen im Vergleich zu quantitativen Informationen	
Faktor	Beschreibung
0.1	deutlich geringer
0.33	geringer
1.0	vergleichbar
3.0	grösser
0.0	irrelevant

Definition der verwendeten Umrechnungsfaktoren für die Transformation qualitativer Informationen in Relation zu den quantifizierten Grössen.

3.3. Systematische Berücksichtigung von Unschärfen

Die Abschätzung der klimabedingten Auswirkungen ist mit beträchtlicher Unsicherheit behaftet. Einerseits sind das Ausmass der klimatischen Veränderungen und die daraus resultierenden Gefahren und Effekte unsicher und andererseits besteht eine grosse Unsicherheit bei den erwarteten Auswirkungen. Zudem können auch die heutigen Erträge und Kosten aufgrund der verfügbaren Daten nicht genau abgeschätzt werden. Diese Unsicherheiten werden in Erweiterung der vorgegebenen Methodik (EBP/SLF/WSL 2013a, b) in Form von sogenannten Unschärfen quantifiziert.

Mit dem Begriff Unschärfe wird in erster Linie die Ungenauigkeit oder Ungewissheit bei der modellhaften Abbildung des untersuchten Sachverhalts verstanden. Je nach Komplexität der Sachverhalte konnten diese im Rahmen der vorliegenden Analyse unterschiedlich gut (im Sinne von „scharf“) abgebildet werden. Ein weiteres Element, das hier unter den Unschärfen subsumiert wird, ist die Ungewissheit über die Folgen der Klimaszenarien und des sozioökonomischen und demographischen Szenarios auf die Wirkungsbereiche. Diese Unsicherheiten werden in für alle quantifizierten Auswirkungen in Form von Unschärfeklassen gesamthaft beurteilt.

Unschärfen werden als klassifizierte Unsicherheiten interpretiert. Sie umfassen die Unsicherheit der heutigen und zukünftigen Auswirkungen, der erwarteten klimatischen Veränderungen und die Modellunsicherheiten.

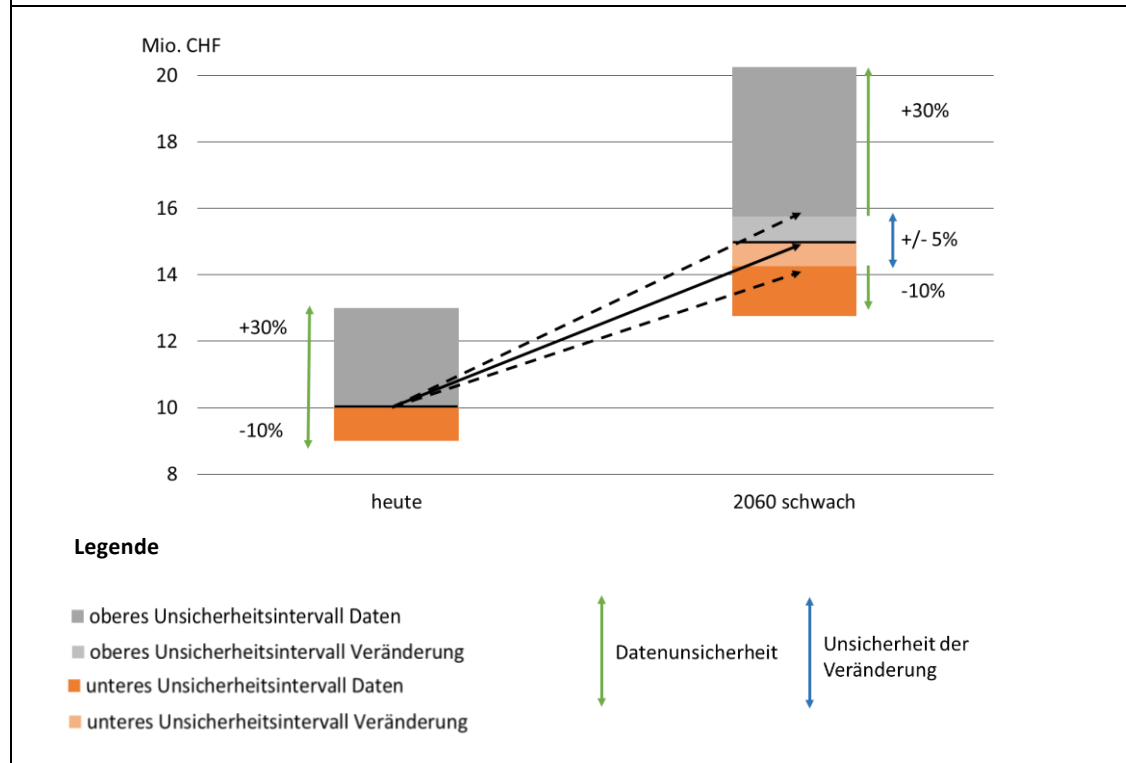
3.3.1. Unschärfeklassen

Die Unschärfen werden als minimal und maximal mögliche Auswirkungen interpretiert. Die Unschärfen der aggregierten Auswirkungen pro Gefahr/Effekt entsprechen der Summe der jeweiligen Maxima, resp. Minima. Dies bildet die maximal möglichen Auswirkungen ab, im Sinne eines „worst case“, resp. „best case“ Szenario. Die Klassifizierung der Unsicherheiten erfolgt gemäss der folgenden Tabelle:

Unschärfeklasse	Beschreibung	Unschärfefaktor (bezogen auf absoluten Wert in Szenario)
0	„sehr gering“	$0.93 \leq f \leq 1.1$
1	„gering“	$0.8 \leq f \leq 1.3$
2	„mittel“	$0.5 \leq f \leq 2$
3	„gross“	$f \leq 0.5$ respektive $f > 2$

Tabelle 2 Definition der verwendeten Unschärfekategorien (adaptiert nach EBP/SLF/WSL 2013a,b). Unschärfeklassen: Für die Situation heute wird eine weitere Unschärfeklasse eingefügt, welche für Situationen mit guter Datenverfügbarkeit eingesetzt wird. Die anderen Werte stammen aus dem Methodenbericht EBP.

Die Unschärfefaktoren setzen sich aus der Unsicherheit der Daten für den heutigen Zustand sowie aus der Unsicherheit in den erwarteten Veränderungen zusammen (Abbildung 3). Die Unsicherheit des heutigen Erwartungswertes umfasst sowohl die Datenverfügbarkeit als auch die jährliche Variabilität der Auswirkungen und wird als „Datenunsicherheit“ bezeichnet. Beim zukünftigen Szenario kommt eine zusätzliche Unsicherheit hinzu, die den möglichen Bereich der Veränderung der Auswirkungen unter dem gegebenen Klimaszenario quantifiziert. Der aggregierte Unschärfefaktor beider Komponenten ergibt sich in unserem vereinfachten Ansatz durch das Aufsummieren der verschiedenen Unsicherheiten der Teilkomponenten. Mit diesem additiven Verfahren werden die maximal möglichen Auswirkungen aus der Kombination verschiedener Unsicherheiten dargestellt. Dabei handelt es sich um „worst case“- respektive „best case“-Szenarien, die eine geringe Eintretenswahrscheinlichkeit haben.

Abbildung 3: Illustration der Unschärfefaktoren der jährlich erwarteten Erträge

Die resultierenden Unschärfefaktoren quantifizieren die gesamthafte Unsicherheit gemäss oben stehender Tabelle. Das Illustrationsbeispiel (Abbildung 3) fällt beim heutigen Szenario in die Unschärfeklasse 1. In Zukunft ist im abgebildeten Beispiel im Bereich der Datengrundlage keine Veränderung der relativen Unsicherheit zu erwarten. Da der Erwartungswert ansteigt, ist der Unsicherheitsbetrag jedoch beim zukünftigen Szenario höher. Zudem vergrössert sich die Unsicherheit aufgrund der nicht genau bekannten Veränderung. Dieser zusätzliche Beitrag zur Unsicherheit führt dazu, dass das Illustrationsbeispiel für das Szenario 2060 einen höheren Unschärfefaktor hat.

Limitierungen durch die Methodik

Die in dieser Studie angewandte Methodik aggregiert die Teilunsicherheiten unter der Annahme, dass in einem „worst case“ Szenario in allen Auswirkungsbereichen die geschätzten maximalen Kosten respektive minimalen Erträge eintreffen werden. Die so ermittelte Obergrenze der Gesamtauswirkung hat daher eine eher geringe Eintretenswahrscheinlichkeit. Die Methodik macht jedoch keine Aussage über die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Auswirkungen innerhalb des Unschärfeintervalls. Es stellt jedoch eine konservative Schätzung der Bandbreite der zu erwartenden Auswirkungen dar.

Berücksichtigung von Anpassungsmassnahmen

Diese Studie zeigt die klimabedingten Risiken und Chancen um das Jahr 2060 *ohne* Berücksichtigung allfälliger expliziter Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel. Sie soll als Grundlage dienen, um zu einem späteren Zeitpunkt den Anpassungsbedarf zu bestimmen und entsprechende Massnahmen auszuarbeiten. Daher werden bei der Analyse der Chancen und Risiken pro Auswirkungsbereich keine expliziten Anpassungsmassnahmen berücksichtigt (Kapitel 5). Eine gewisse Anpassung wird aber auch ohne neue Anpassungsmassnahmen stattfinden, z. B. durch intensiveres Nutzen bestehender Bewässerungsanlagen in der Landwirtschaft. Diese Art der Anpassung wurde in dieser Analyse berücksichtigt. Dazu gehört z. B. auch der Baumartenwechsel in der Waldwirtschaft im Rahmen der normalen Bewirtschaftung. Die Resultate werden zusätzlich im Hinblick auf Handlungsfeldern der Anpassungsstrategie des Bundes (BAFU 2012) diskutiert (Kapitel 1.4).

3.4. Unterschiede zur Methodik der Fallstudien Aargau und Uri

In der vorliegenden Studie musste in einigen Punkten von der vorgegebenen Methodik gemäss dem Methodenbericht (EBP/SLF/WSL 2013a, b) sowie gemäss den Fallstudien Aargau (EBP/SLF/WSL 2013c, d) und Uri (INFRAS/Egli Engineering 2015) abgewichen werden:

Unterschiede zur Fallstudie Aargau

- Die Unschärfen der Chancen und Risiken wurden nicht mit einer Monte Carlo Simulation geschätzt, sondern wurden basierend auf der in Kapitel 3.3 beschriebenen Methodik zur Fortpflanzung von Unsicherheiten berechnet.
- Die Unsicherheit der erwarteten Risiken und Chancen wird ebenfalls über sogenannte Unschärfekategorien analysiert. Anstelle von 3 verwendeten Unschärfeklassen wird in dieser Studie für die heutige Situation eine weitere Unschärfekategorie eingeführt, um auch Parameter mit sehr geringen Unschärfen („Stand heute“) besser erfassen zu können (siehe Kapitel 3.3.1).
- Aussagen zu den Gefahren und Effekten: Auch heute ist nicht in jedem Fall eine zu hundert Prozent sichere Aussagen zu den Auswirkungen der Gefahren und Effekten, in Bezug auf deren Frequenz und Intensität möglich. In vielen Fällen der Szenarien handelt es sich um Abschätzungen oder Modellierungen mit entsprechenden Unsicherheiten. Wo möglich wird eine Aussage zur Frequenz oder Intensität der Prozesse gemacht, welche aber aufgrund der vorhandenen Unsicherheiten als Grössenordnung zu werten ist.

- Anwendung der Gefahren und Effekte auf die Auswirkungsbereiche: Wie vorgängig erwähnt, bestehen z.T. grosse Unsicherheiten im Bereich der Gefahren und Effekte (Situation „heute“ und Entwicklung im Jahr 2060). Im Sinne der Einheitlichkeit wurde die abgeschätzte Entwicklung der Gefahren und Effekte linear auf die Veränderung der Kosten- und Erträge-Abschätzung für das Jahr 2060 in den jeweiligen Auswirkungsbereichen angewendet, obwohl bekannt ist, dass viele dieser Prozesse (stark) nichtlinear reagieren dürften. Dies ist eine sehr starke Vereinfachung der Situation aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit und Prozesskenntnisse, welche aber die ohnehin bestehenden Unsicherheiten soweit wie möglich berücksichtigt.
- Die Auswirkungen durch das sozioökonomische Szenario werden zur Vereinfachung und in Anbetracht der grossen Unschärfen nicht quantitativ in absoluten Grössen analysiert, sondern qualitativ in Relation zu den klimabedingten Auswirkungen als grösser, kleiner oder gleich gross kategorisiert.
- Die Auswirkungen werden auf Ebene der einzelnen Auswirkungsbereiche nicht nur gesamthaft in der Form einer Gesamtbilanz ermittelt, sondern die Chancen und Risiken werden zusätzlich getrennt ausgewiesen.

Unterschiede zur Fallstudie Uri

- Die Aggregation der Unsicherheiten erfolgt nicht anhand der Unschärfen (=klassifizierte Unsicherheiten), da die Gesamtunsicherheit so überschätzt würde. Daher wird mit den effektiv geschätzten Unsicherheiten gerechnet und erst das Endresultat wird klassifiziert.
- Für die quantitative Analyse der Auswirkungen wurde ein Schwellenwert von 500'000.- CHF gesetzt. Kosten und Erträge, die diesen Betrag sowohl bei der heutigen Situation als auch bei den zukünftigen Szenarien unterschreiten, fliessen nicht in die Quantifizierung der Auswirkungen mit ein.

Anpassungen waren unter anderem auch nötig, um den spezifischen Gegebenheiten von Agglomerationsgebieten Rechnung zu tragen. Das Siedlungsgebiet ist stark geprägt durch kleinräumige Unterschiede in den klimatischen Bedingungen. So sind zum Beispiel deutlich höhere Temperaturen als im Umland zu verzeichnen und die dichte Bebauung beeinträchtigt den Luftaustausch und somit auch die Luftqualität. Die Klimaszenarien sind hingegen nur in relativ grober räumlicher Auflösung verfügbar. Daher muss der Effekt des Siedlungsgebiets mit den erwarteten klimatischen Veränderungen überlagert werden. Um den Effekt des Siedlungsgebiets auf verschiedene Klimaparameter zu quantifizieren, werden die heutigen klimatischen Bedin-

gungen jeweils für einen Standort in Stadtnähe und einen im Zentrum des Siedlungsgebiets untersucht. Aus der Differenz zwischen den beiden Standorten kann so der Effekt des Siedlungsgebiets abgeleitet und den klimatischen Veränderungen überlagert werden. Aus diesen Informationen zur stadtspezifischen Klimaveränderung können dann auch die Gefahren und Effekte spezifisch für den urbanen Raum ermittelt werden. Die stadtspezifischen Gegebenheiten werden bei allen Klimaparametern und Gefahren und Effekten untersucht, bei denen signifikante Unterschiede zwischen dem Siedlungsraum und dem umliegenden Gebiet zu erwarten sind (INFRAS 2015).

Literatur Kapitel 3

EBP/SLF/WSL 2013a: Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz, Schlussbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom Juli 2011)

EBP/SLF/WSL 2013b: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013c: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

EBP/SLF/WSL 2013d: Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)

INFRAS 2015: Städtischer Wärmeinsel-Effekt – Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf. Infrass im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt - BAFU, 2015.

INFRAS/Egli Engineering 2015: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz – Regionale Fallstudie Kanton Uri. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt - BAFU, 2015.

4. Szenarien Basel-Stadt und resultierende Gefahren und Effekte

4.1. Klima heute und Klimaszenarien

4.1.1. Klima heute Kanton Basel-Stadt

Die für den Bericht notwendigen klimarelevanten Daten und Informationen werden ausführlich in INFRAS/Egli Engineering (2015) dargestellt. Die unten aufgeführten Grafiken zeigen die für die Studie verwendeten Klimaparameter und Klimaindikatoren. Für die vorliegende Klimarisikokoanalyse wurde in einer Grundlagenarbeit der städtische Wärmeinsel-Effekt (WIE) quantitativ abgeschätzt. Detaillierte Informationen können daher aus INFRAS (2015) entnommen werden. Die unten aufgeführten Klimagrößen beinhalten keinen städtischen Wärmeinsel-Effekt.

Definition Klima heute

Klima heute: Klimaparameter gemäss Normperiode 1981-2010

Beobachtete Klimaentwicklung und das Klima heute der Agglomeration Basel-Stadt

Die Zunahme der Temperatur im Zeitraum 1864-2013 betrug im Mittel an der Station Basel/Binningen¹⁰ (BAS) 0.14°C pro Dekade. Die zehn wärmsten Jahre seit Messbeginn wurden dabei in den letzten zwei Dekaden gemessen. Seit 1961 wird ein deutlicher Trend in Richtung mehr Hitzetage¹¹ sichtbar. Waren im 11-jährlichen Mittel 1965 rund 5 Hitzetage zu verzeichnen, waren es um das Jahr 2010 bereits rund 15 Tage mit Maximaltemperaturen über 30°C. Für die jährlichen Niederschlagssummen ist seit Messbeginn neben der hohen Variabilität kein signifikanter Trend feststellbar. Die maximalen 1-Tagesniederschläge weisen ebenfalls eine hohe Variabilität aus, wobei auch hier kein signifikanter Trend sichtbar ist (aus INFRAS/Egli Engineering 2015)

Für die Normperiode 1981-2010 wurde an der Messstation Basel/Binningen (316 m.ü.M.) eine mittlere Temperatur von 10.5°C gemessen (siehe Tabelle 3). Im Mittel werden an diesem Standort rund 64 Frosttage und knapp 13 Eistage gezählt. Mit 52 Sommertagen und rund 11 Hitzetagen zählt Basel zu den wärmsten Standorten der Schweiz auf der Alpennordseite. Wäh-

¹⁰ Station des SwissMetNet. Das SwissMetNet stellt das Messnetz der automatischen Bodenstationen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) dar. (<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/bodenstationen/automatisches-messnetz.html>) (15.1.2015))

¹¹ Tage mit Maximaltemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$

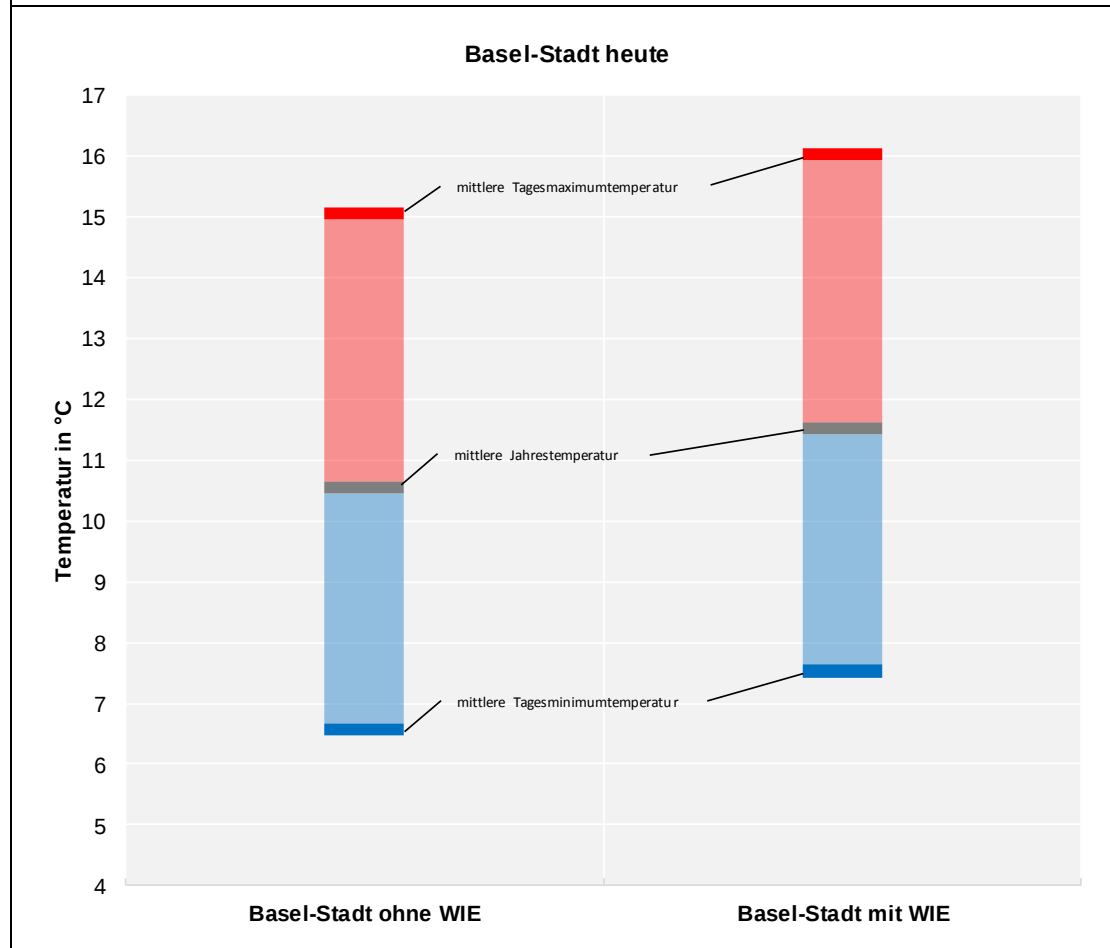
rend des Jahres fallen 842 mm Niederschlag. Akkumuliert fallen davon rund 37 cm als Schnee, wobei im Mittel an 11 Tagen mit Neuschnee zu rechnen ist.

Tabelle 3: Jahresmittelwerte Basel/Binningen heute		
	Station Basel-Binningen	Jahresmittelwert der Normperiode 1981-2010
	Temperatur [°C]	10.5
	Maximumtemperatur [°C]	14.9
	Eistage [Tage]	12.9
	Frosttage [Tage]	63.9
	Sommertage [Tage]	52.3
	Hitzetage [Tage]	10.8
	Niederschlag [mm]	842.0
	Niederschlag [Tage]	120.4
	Neuschnee [cm]	36.9
	Neuschnee [Tage]	11.1
Ausgewählte Klimanormwerte für die Normperiode 1981-2010 der Station Basel/Binningen. Legende siehe Glossar. Quelle: MeteoSchweiz (2014c)		

Temperatur heute in der Stadt Basel unter Berücksichtigung des Wärmeinsel-Effekts

Die mittlere Jahrestemperatur, die mittlere Tagesminimumtemperatur sowie die mittlere Tagesmaximumtemperatur von Basel-Stadt sind in Abbildung 4 für den Zustand *heute* einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung des Wärmeinsel-Effekts dargestellt. Die Bestimmung des Wärmeinsel-Effekts erfolgte gemäss INFRAS (2015). Die Berechnungen wurden von MeteoSchweiz vorgenommen (MeteoSchweiz 2014d). Die dargestellten Werte verstehen sich lediglich als jährliches geglättetes Signal des Wärmeinsel-Effekts (WIE). Der städtische WIE kann an einzelnen Tagen weit grösser sein. Der mittlere jährliche Wärmeinsel-Zuschlag beträgt rund 1°C. Die Veränderungen einzelner Klimaindikatoren zwischen den beiden Zeiträumen *heute* und 2060 unter Berücksichtigung der *Klimaszenarien schwach und stark* sind weiter unten dargestellt.

Abbildung 4: Mittlere Temperatur in Basel-Stadt heute



Mittlere Jahrestemperatur (grau), mittlere Tagesmaximumtemperatur (rot) und mittlere Tagesminimumtemperatur (blau) an der Station Basel/Binningen. Links: Basel-Stadt ohne Berücksichtigung des Wärmeinsel-Effekts (WIE). Rechts: Basel-Stadt mit Berücksichtigung des Wärmeinsel-Effekts (WIE) gemäss INFRAS (2015). Modelldaten: MeteoSchweiz 2014d.

4.1.2. Klimaszenarien um 2060

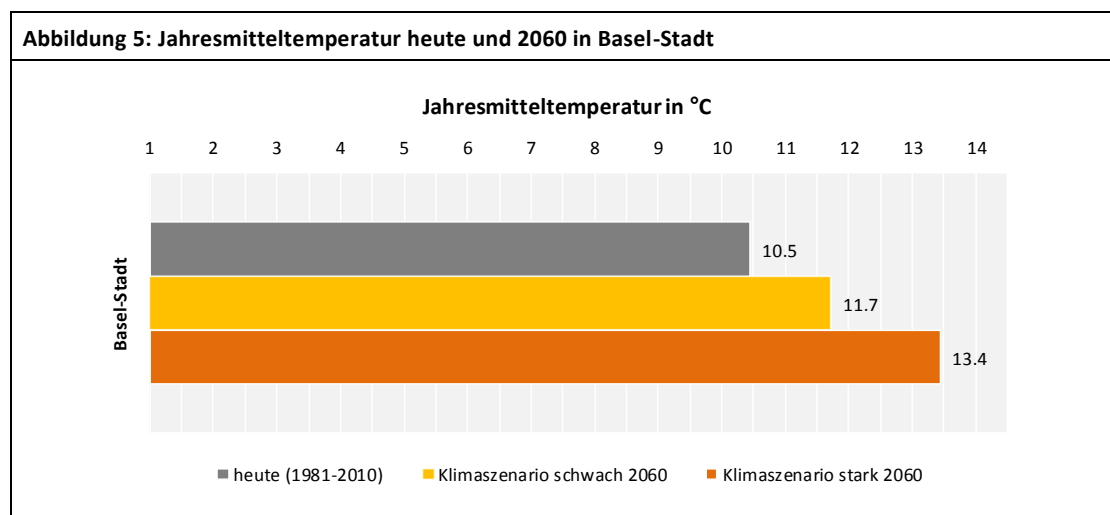
Die für den Bericht notwendigen klimarelevanten Daten und Informationen werden ausführlich in INFRAS/Egli Engineering (2015) aufgeführt.

Definition Klimaszenarien 2060

Klimaszenario schwach: Mittlere Schätzung RCP3PD 2060 (Mittelwert 2045-2074) für die Temperatur (gerundet auf 0.1°C) und den Niederschlag (auf 5% gerundet).

Klimaszenario stark: Obere Schätzung A1B 2060 (Mittelwert 2045-2074) für die Temperatur im ganzen Jahr (gerundet auf 0.1°C), und den Niederschlag (auf 5% gerundet) im Winter und im Frühling. Für den Niederschlag im Sommer und im Herbst wird die untere Schätzung A1B verwendet, um eine möglichst starke Abnahme zu betrachten.

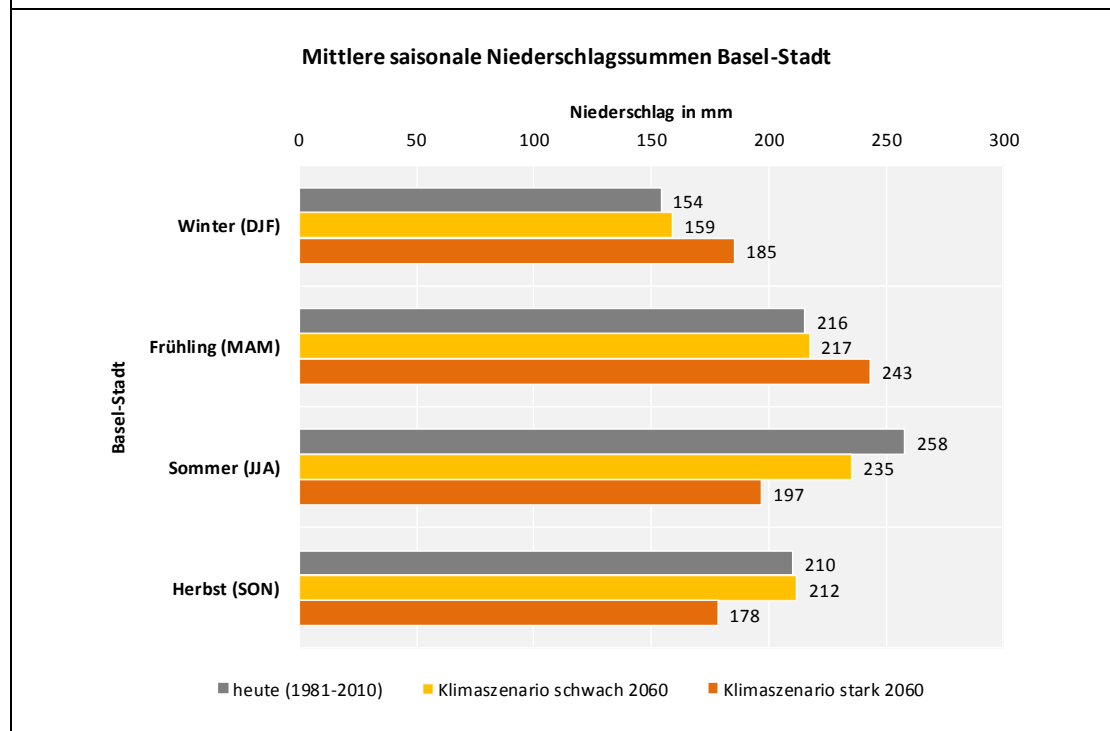
Veränderung der Jahresmitteltemperatur



Jahresmitteltemperaturen (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

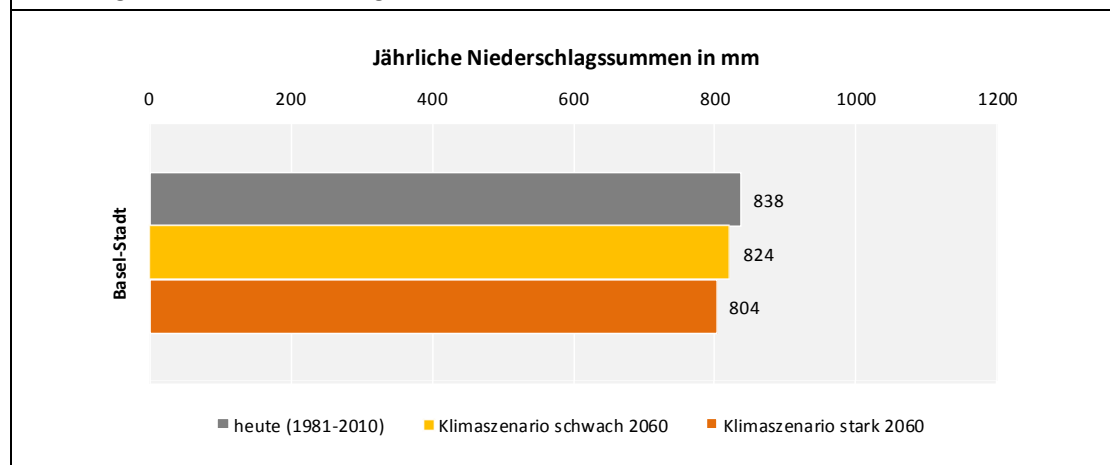
Veränderung der Niederschlagssummen

Abbildung 6: Mittlere saisonale Niederschlagssummen in Basel-Stadt



Mittlere saisonale Niederschlagssummen (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

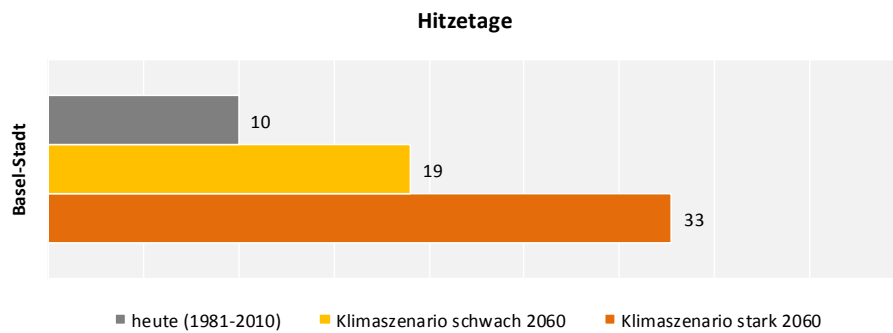
Abbildung 7: Jährliche Niederschlagssummen in Basel-Stadt



Jährliche Niederschlagssummen (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

Hitzetage

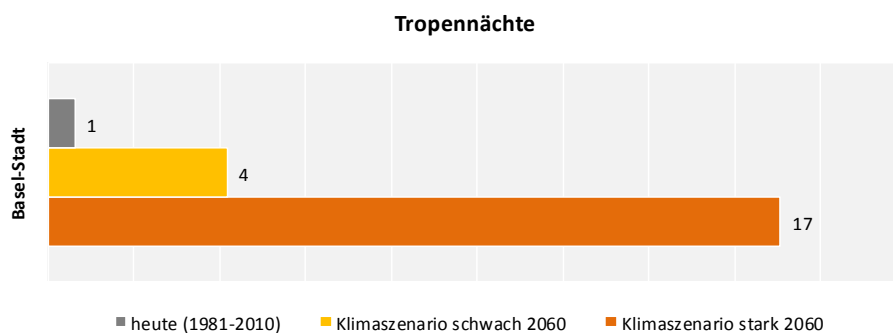
Abbildung 8: Hitzetage heute und 2060 in Basel-Stadt



Anzahl Hitzetage (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

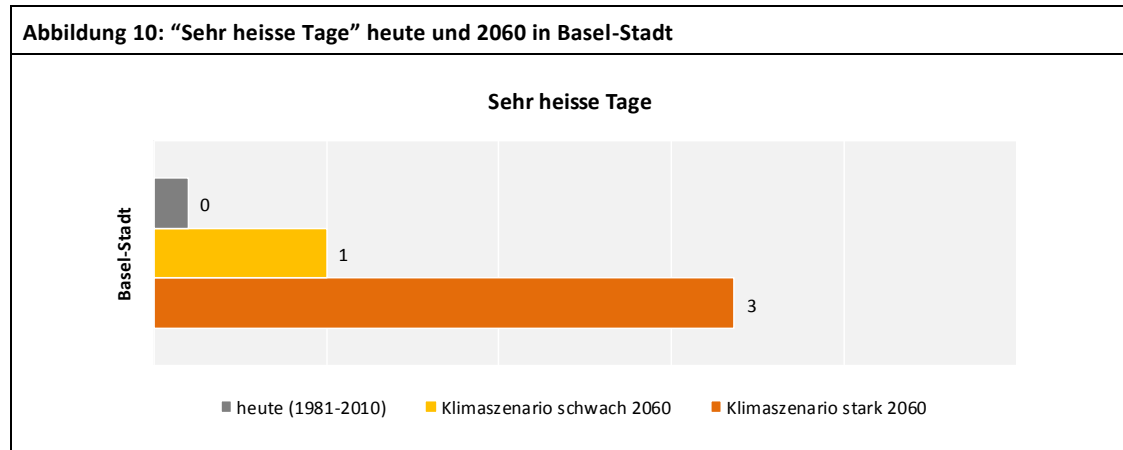
Tropennächte

Abbildung 9: Tropennächte heute und 2060 in Basel-Stadt



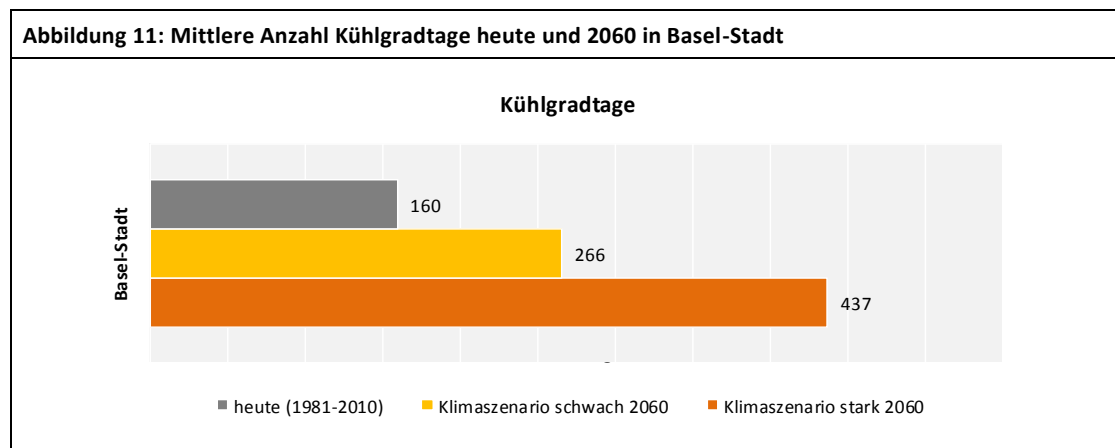
Anzahl Tropennächte (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

Sehr heisse Tage



Anzahl "sehr heisse Tage" (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

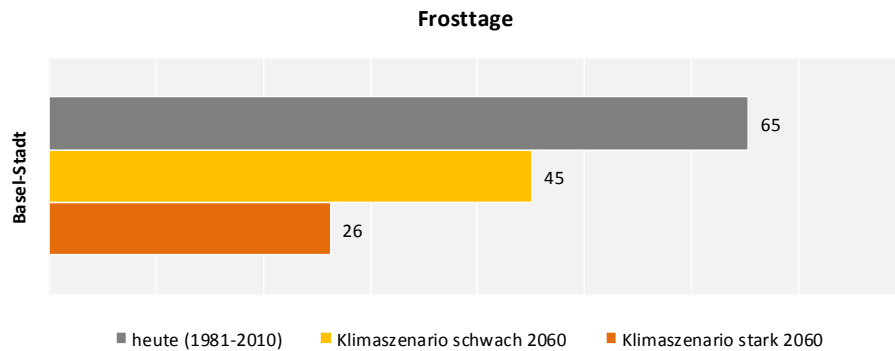
Kühlgradtage



Anzahl Kühlgradtage [Kelvin-Tage] (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

Frosttage

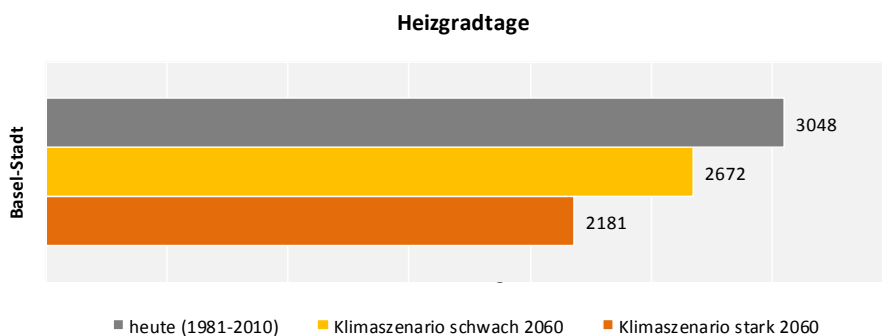
Abbildung 12: Frosttage heute und 2060 in Basel-Stadt



Anzahl Frosttage (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

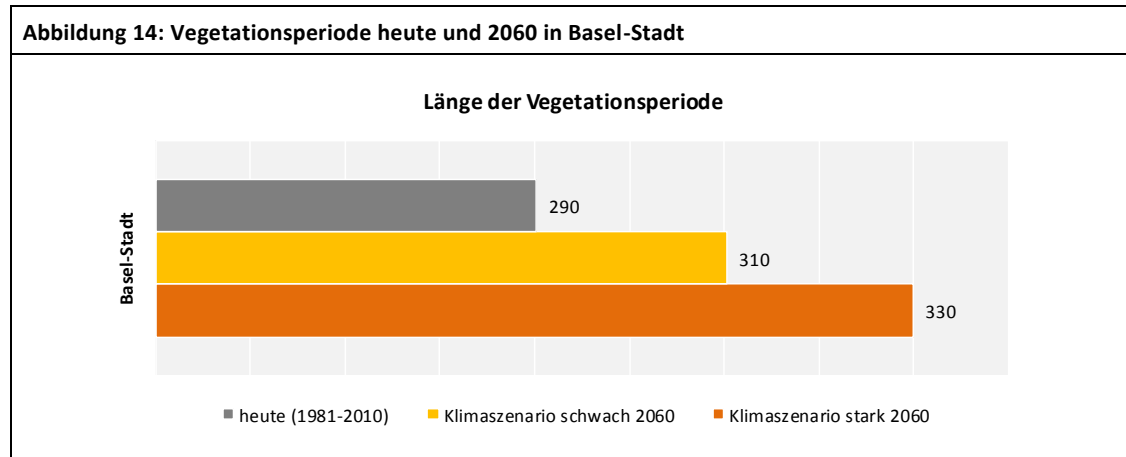
Heizgradtage

Abbildung 13: Heizgradtage heute und 2060 in Basel-Stadt



Heizgradtage [Kelvin-Tage] (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

Länge der Vegetationsperiode



Länge der Vegetationsperiode [Anzahl Tage] (gerundet) *heute* (grau) und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an der Stationen Basel/Binningen (BAS) aus INFRAS/Egli Engineering (2015). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

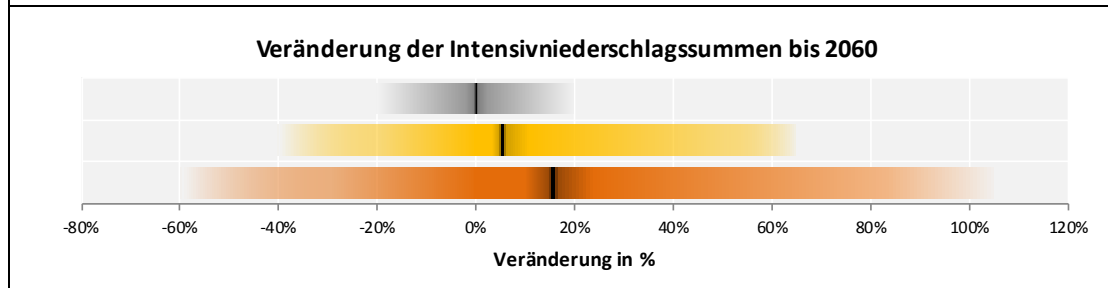
4.2. Ableitung von Gefahren und Effekten aus den Klimaszenarien 2060

Die Herleitungen der Gefahren und Effekte sind im Detail in INFRAS/Egli Engineering (2015) beschrieben. Hier werden nur die resultierenden Veränderungen und Ergebnisse aufgeführt, welche die Basis für die weiteren Abschätzungen der Risiken und Chancen bilden.

4.2.1. Intensivniederschläge 2060

Spezifische Erläuterungen zu den Intensivniederschlägen sowie Definitionen, Annahmen und Vorbehalte finden sich in INFRAS/Egli Engineering (2015). Hier sind lediglich die abgeleiteten Abschätzungen der Veränderung bis 2060 abgebildet.

Abbildung 15: Abgeschätzte mittlere jährliche Veränderung der 1-Tages-Intensivniederschläge 2060



Abgeschätzte Werte für die Veränderung (dunkle Bereiche in der Mitte) der 1-Tages-Intensivniederschlagssummen im Alpenraum (akkumulierte 1-Tagesniederschläge), als abgeleitete Schätzungen („best estimate“) basierend auf Überlegungen zur Studie von Rajczak et al. (2013) für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) im Jahr 2060 und deren abgeschätzte Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau). Die mittleren abgeschätzten Veränderung [%] entsprechen für beide Szenarien einer Zunahme.

Klimaszenario schwach: Intensivniederschlagssummen
Veränderung bis 2060

+5%

Unschärfefaktor

3 (gross)

Klimaszenario stark: Intensivniederschlagssummen
Veränderung bis 2060

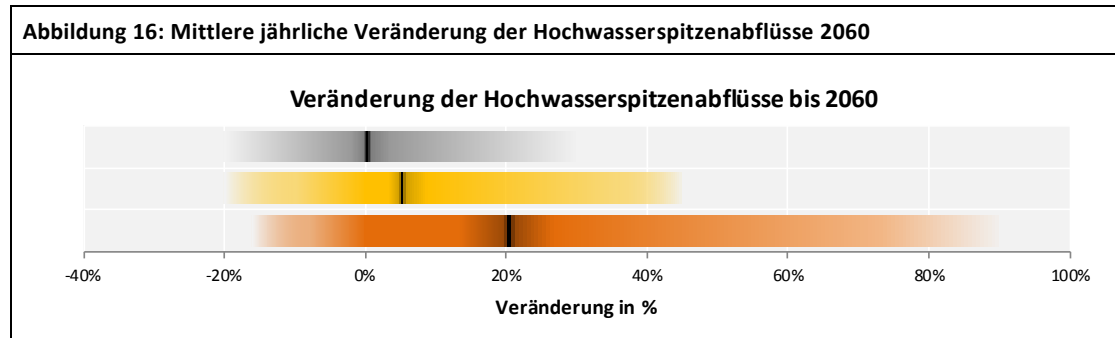
+15%

Unschärfefaktor

3 (gross)

4.2.2. Hochwasser 2060

Die Unsicherheit der Höhe von heutigen Hochwasserspitzenabflüsse (bei gleicher Jährlichkeit) wird mit dem Unschärfefaktor 2 eingestuft.



Abschätzung der Veränderung der Hochwasserspitzenabflüsse bis 2060 für die *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) inklusive deren Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau).

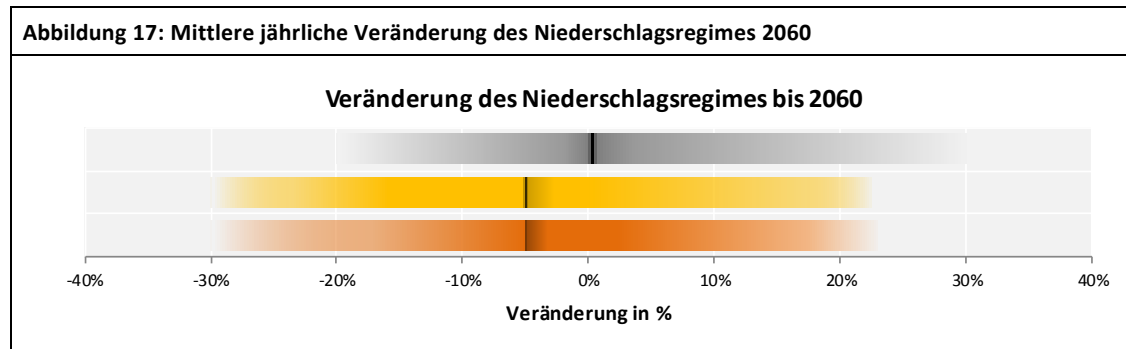
Klimaszenario schwach:	Zunahme der Hochwasserspitzenabflüsse um	5%
	Unschärfefaktor:	2
Klimaszenario stark:	Zunahme der Hochwasserspitzenabflüsse um	20%
	Unschärfefaktor:	2

4.2.3. Gewitter (inklusive Erosion und Hagel)

Für Gewitter können keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Deshalb wird in den Auswirkungsbereichen jeweils eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

4.2.4. Änderung im Niederschlagsregime

Die Unsicherheit der Daten zum heutigen Niederschlagsregime wird mit dem Unschärfefaktor 0 eingestuft.



Abschätzung der Veränderung des Niederschlagsregimes bis 2060 für die *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) inklusive deren Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau).

Klimaszenario schwach: Die Niederschläge verändern sich wie folgt:

Jahresniederschlag: -5%

Saisonale Niederschläge

Winter: +5%

Frühling: 0

Sommer: -10%

Herbst: 0

Unschärfefaktor: 2

Klimaszenario stark: Die Niederschläge verändern sich wie folgt:

Jahresniederschlag: -5%

Saisonale Niederschläge

Winter: +20%

Frühling: +15%

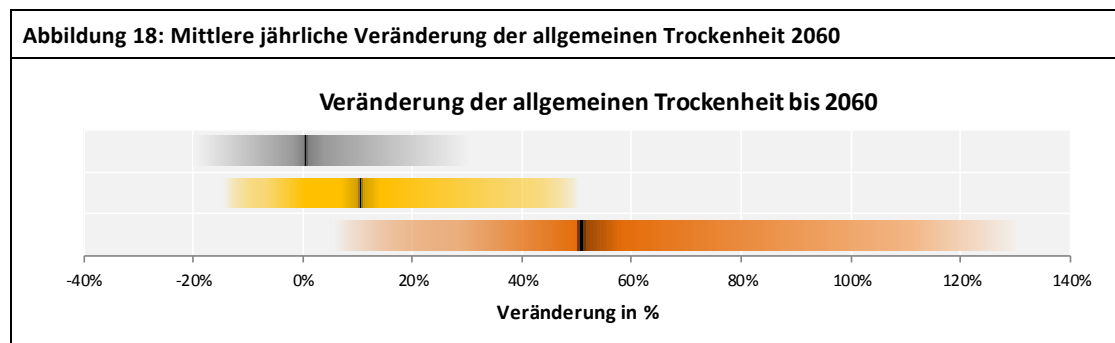
Sommer: -25%

Herbst: -15%

Unschärfefaktor: 2

4.2.5. Allgemeine Trockenheit

Die Unsicherheit der Daten zu der allgemeinen Trockenheit heute wird mit dem Unschärfefaktor 1 eingestuft.



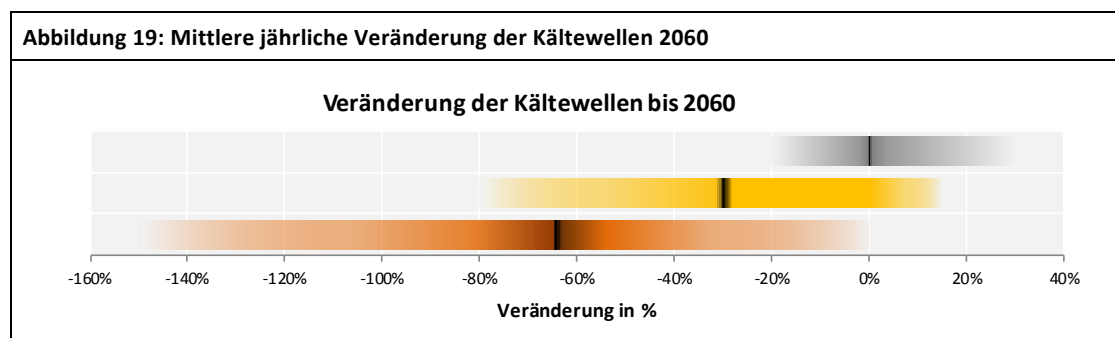
Abschätzung der Veränderung der allgemeinen Trockenheit bis 2060 für die *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) inklusive deren Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau).

Klimaszenario schwach: Verlängerung der Trockenperioden um 10%.
Unschärfefaktor: 2

Klimaszenario stark: Verlängerung der Trockenperioden um 50%.
Unschärfefaktor: 2

4.2.6. Kältewelle

Die Unsicherheit der Daten zu Kältewellen heute wird mit dem Unschärfefaktor 1 eingestuft.



Abschätzung der Veränderung der Kältewellen bis 2060 für die *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) inklusive deren Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau).

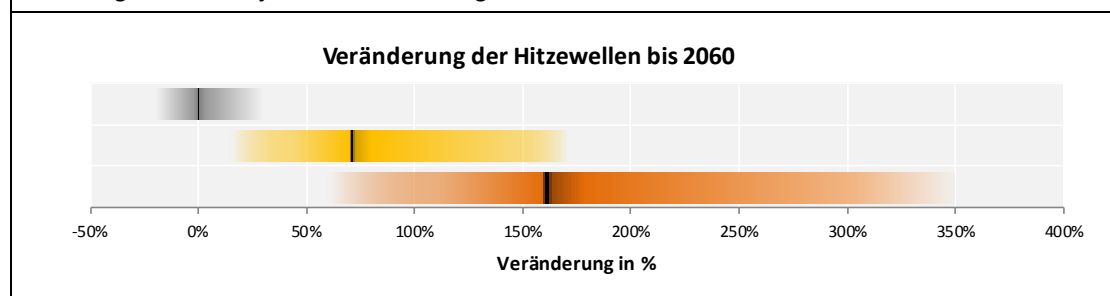
Klimaszenario schwach: Abnahme der Kältewellen um 30%.
Unschärfefaktor: 2

Klimaszenario stark: Abnahme der Kältewellen um 65%.
Unschärfefaktor: 2

4.2.7. Hitzewelle

Die Unsicherheit der Daten zu Hitzewelle heute wird mit dem Unschärfefaktor 1 eingestuft.

Abbildung 20: Mittlere jährliche Veränderung der Hitzewellen 2060



Abschätzung der Veränderung der Hitzewellen bis 2060 für die *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) inklusive deren Unsicherheiten (auslaufende Balken) im Vergleich zum heutigen Zustand (grau).

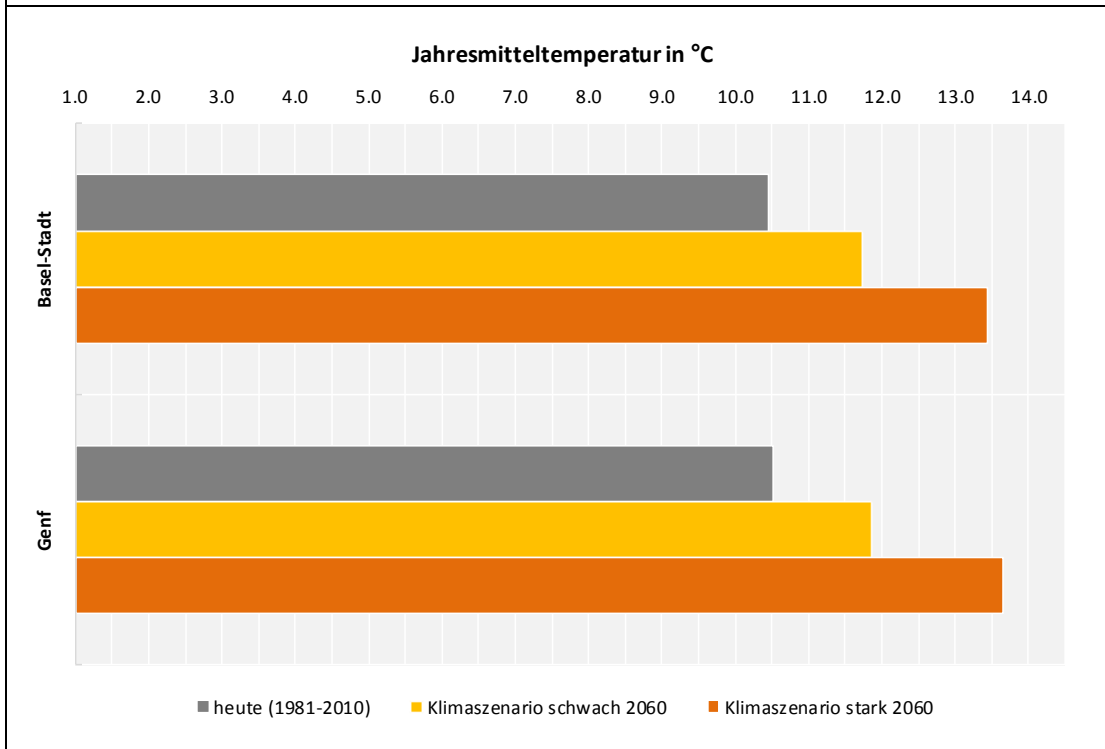
Klimaszenario schwach: Zunahme der Dauer von Hitzewellen um 70%.
Unschärfefaktor: 2

Klimaszenario stark: Zunahme der Dauer von Hitzewellen um 160%.
Unschärfefaktor: 2

4.2.8. Veränderung der Mitteltemperatur

Die Unsicherheit der Daten der Mitteltemperatur wird mit dem Unschärfefaktor 0 eingestuft, ist jedoch für die vorliegende Betrachtung irrelevant, da die Temperaturveränderung bis 2060 aufgrund der vorgegebenen Szenarienbetrachtung, wie im Kapitel 4.1.2 beschrieben, als Teil der Grundannahme fix vorgegeben ist. Lediglich die Folgen daraus (Naturgefahren und Auswirkungen auf die Kosten und Erträge) sind mit Unsicherheiten behaftet.

Abbildung 21: Jahresmitteltemperatur heute und 2060 Basel-Stadt und Genf



Jahresmitteltemperaturen heute (grau), und 2060 für die beiden *Klimaszenarien schwach* (gelb) und *stark* (orange) an den Stationen Basel/Binningen (BAS) und Genève-Cointrin (GVE). Datenquelle: MeteoSchweiz (2014d).

Klimaszenario schwach: Veränderung der Mitteltemperatur mit Wärmeinsel-Effekt: +1.3°C

Klimaszenario stark: Veränderung der Mitteltemperatur mit Wärmeinsel-Effekt: +3.0°C

4.2.9. Sturm / Orkan

Für Sturm / Orkan können keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Deshalb wird in den Auswirkungsbereichen jeweils eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

4.3. Sozioökonomisches und demographisches Szenario

4.3.1. Verwendung sozioökonomisches und demographisches Szenario

Sozioökonomische und demographische Effekte können die durch die Klimaänderung zu erwartenden Effekte sowohl zusätzlich verschärfen als auch abschwächen. Für viele Auswirkungsbereiche sind dabei die bis ins Jahr 2060 durch die vom Klimawandel beeinflussten Gefahren und Effekte induzierten Auswirkungen meist kleiner als die zu erwartenden sozioökonomischen und demographischen Effekte, welche jedoch genauso wie die klimabedingten Risiken und Chancen mit grossen Unsicherheiten behaftet sind.

Im Rahmen einer schweizweiten Analyse zur Abschätzung der klimabedingten Risiken und Chancen wurde als Vorarbeit zunächst ein sozioökonomisches und demographisches Szenario für die ganze Schweiz entwickelt (EBP/SLF/WSL 2013c), auf das sich später auch die regionalen sozioökonomischen Szenarien von anderen Fallstudien beziehen sollen. Die Anwendung der schweizweiten sozioökonomischen und demographischen Szenarien auf den Kanton Basel-Stadt ist jedoch nicht immer möglich. Die wichtigsten sozioökonomischen und demographischen Entwicklungen für den Kanton Basel-Stadt werden pro Auswirkungsbereich analysiert und deren Wirkung im Vergleich zu den klimabedingten Gefahren und Effekte wo immer möglich in Relation gebracht.

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, publizierten Prognosen und weiteren Annahmen (gemäss EBP/SLF/WSL 2013b).

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 (EBP/SLF/WSL 2013b).

Die sozioökonomischen Veränderungen werden im Anschluss an die klimabedingten Veränderungen je Auswirkungsbereich erläutert und diskutiert. Dabei werden in der Fallstudie Basel-Stadt explizit auch die sozioökonomischen Veränderung qualitativ abgeschätzt und analog dem Vorgehen zu den qualitativen Gefahren und Effekten (siehe EBP/SLF/WSL 2013a) versucht diese mit den quantifizierten Gefahren und Effekten in Verbindung zu bringen. Tabelle 4 zeigt die Einordnung dieser qualitativen Informationen in quantitative Abschätzungen.

Tabelle 4: Bedeutung der sozioökonomischen Informationen im Vergleich zu den quantifizierbaren Auswirkungen	
Qualitative Einordnung	Faktor zur Umrechnung
grösser	3
vergleichbar	1
geringer	1/3
deutlich geringer	1/10
irrelevant	0

Umgang mit qualitativen Informationen gemäss EBP/SLF/WSL (2013a). Die Kategorie irrelevant wurde neu eingefügt.

4.3.2. Wichtige Kenngrössen

Bevölkerungsentwicklung

Im Jahr 2010 wies der Kanton Basel-Stadt eine ständige Wohnbevölkerung von 188'962 Personen aus (BFS 2013b). Dies sind rund 2.4% der Gesamtbevölkerung der Schweiz. Gemäss dem mittleren Szenario AR-00-2010 (BFS 2010a) nimmt die Bevölkerung des Kantons Basel-Stadt zwischen 2010 und 2035 um 5% von 189'000 auf 198'000 Personen zu¹². Die Zahl der Kinder und Jugendlichen (0-19 Jahre) erhöht sich von 31'000 auf 33'000 (+6%). Die Zahl der Personen im erwerbsfähigen Alter (20-64 Jahre) nimmt von 119'000 auf 117'000 (-2%) ab. Die Zahl der Personen im Pensionsalter (65-jährige und Ältere) erhöht sich um 23% von 39'000 auf 48'000 Personen. Ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung nimmt zwischen 2010 und 2035 von 21% auf 24% zu. Der Altersquotient, d.h. die Zahl der Personen ab 65 Jahren pro hundert 20- bis 64-jährige, erhöht sich von 33 im Jahr 2010 auf 41 im Jahr 2035 (BFS 2010a).

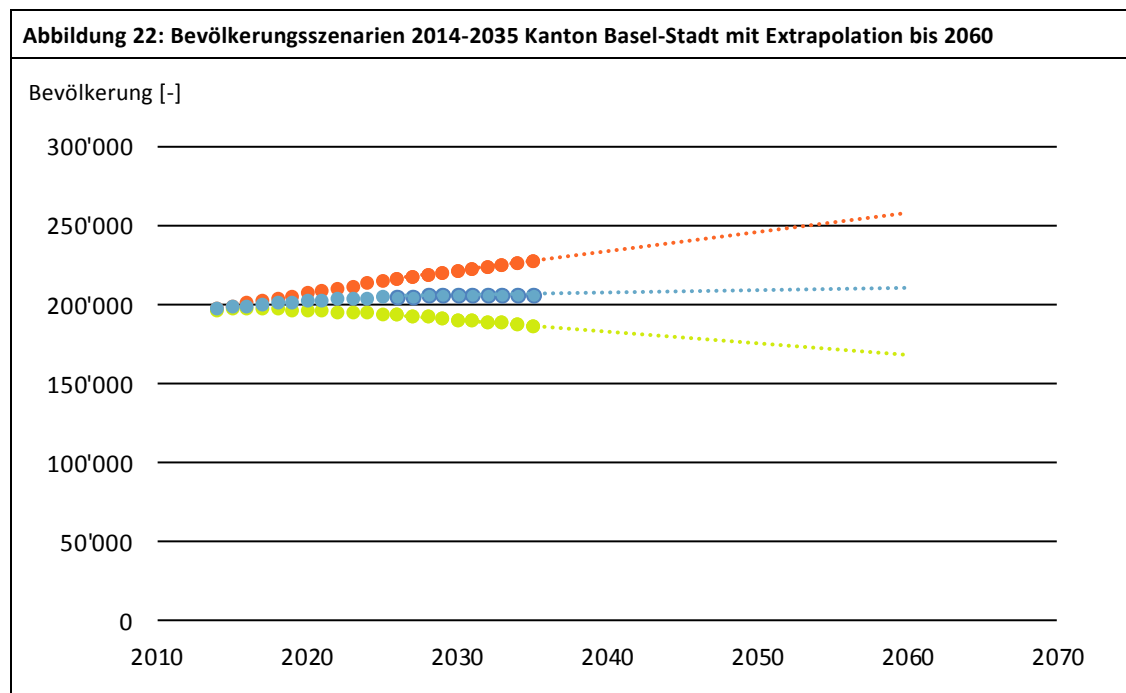
Gemäss mittlerem Bevölkerungsszenario/Referenzszenario (A-00-2010) wächst die ständige Wohnbevölkerung der Schweiz bis ins Jahr 2055 (BFS 2010a). Ab dem Jahr 2055 stabilisiert sich die Bevölkerung bei einem Stand von knapp 9 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner (BFS 2010a). Dies entspricht einer Zunahme bis ins Jahr 2060 von rund 14%. Unter Berücksichtigung eines starken Szenarios (B-00-2010) nimmt die ständige Wohnbevölkerung der Schweiz um 44% zu und erreicht im Jahr 2060 rund 11 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner (BFS 2010a).

Für den Kanton Basel-Stadt können diese Prognosen nicht 1:1 übernommen werden. Diesen entscheidenden Unterschied gilt es auch für Überlegungen wie der Hochskalierung auf andere geographische Räume zu berücksichtigen. Für den Kanton Basel-Stadt wurden Szenarien für das Jahr 2035 entwickelt¹³. Die lineare Extrapolation der 3 Szenarien Tief, Mittel und

¹² Diese Ergebnisse unterscheiden sich von denjenigen des Statistischen Amtes des Kantons Basel-Stadt wegen der Verwendung anderer Hypothesen und Methoden sowie aufgrund des Zeitpunktes der Berechnungen.

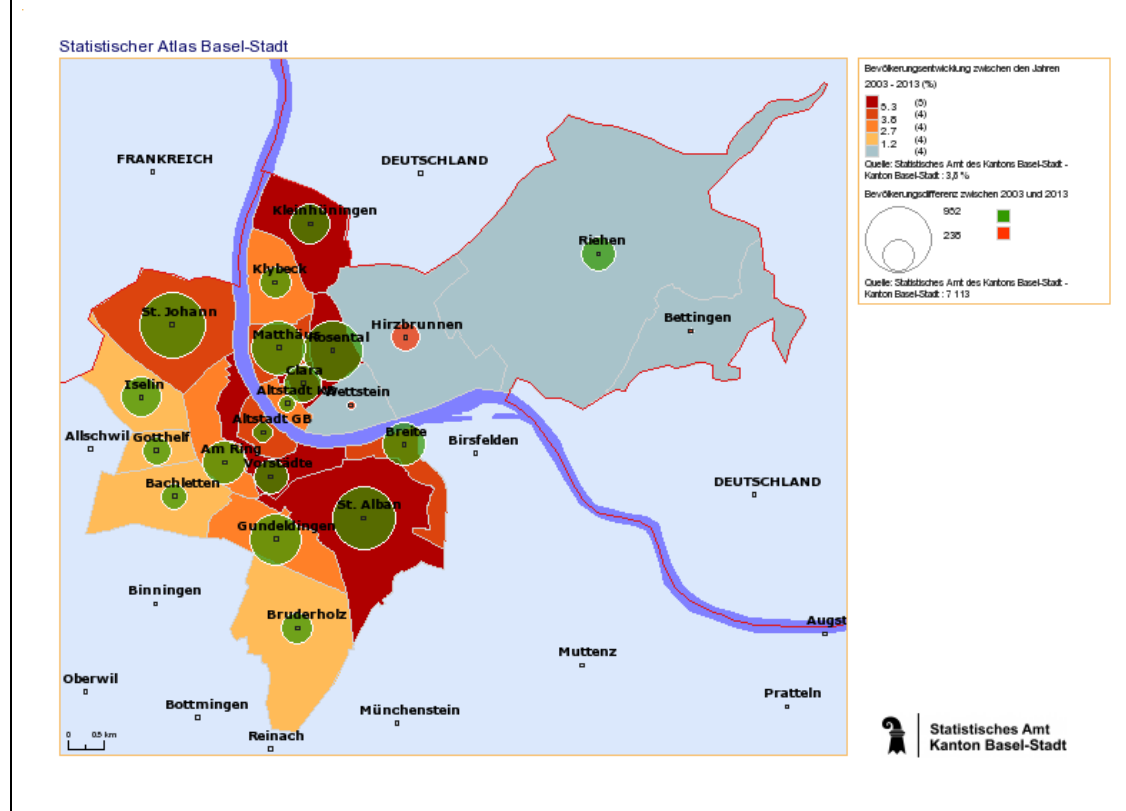
¹³ www.statistik-bs.ch/tabellen/t01/6 (9.1.2015)

Hoch der Jahre 2025-2035 zeigt für das Jahr 2060 eine grosse Bandbreite möglicher Entwicklungen. Unter der Annahme des mittleren Szenarios nimmt die Bevölkerung bis 2060 um etwa 7% zu und liegt dann auf einer Höhe von 210'000 Einwohnern. Das hohe Szenario zeigt eine Zunahme um 31% auf knapp 260'000 Einwohner. Hingegen zeigt das tiefe Szenario eine Abnahme um 15% auf eine Höhe von knapp 170'000 Einwohner. Die Eintretenswahrscheinlichkeit hängt sehr stark von der raumplanerischen Entwicklung ab und ist somit nur schwer zu beziffern. Werden grössere Bauprojekte im Siedlungsbau umgesetzt, ist mit einem deutlichen Bevölkerungswachstum zu rechnen. Wenn der Wohnraum jedoch nicht im erwarteten Ausmass erweitert werden kann, ist mit einer Stagnation oder möglicherweise sogar einer Reduktion der Bevölkerung zu rechnen.



In Abbildung 23 ist die Bevölkerungsentwicklung zwischen 2003 und 2013 illustrativ dargestellt. Das Wachstum betrug in dieser Zeitspanne im Durchschnitt 3.8% (Statistisches Amt Kanton Basel-Stadt 2014).

Abbildung 23: Bevölkerungsentwicklung 2003-2013 Kanton Basel-Stadt



Quelle: Statistisches Amt Kanton Basel Stadt (2014).

Veränderung Siedlungsfläche

Im Kanton Basel-Stadt ist die Siedlungsfläche gemäss Arealstatistik von 2'594 ha (Erhebung 1979/85) auf 2'628 ha (Erhebung 2004/09) um 1.3% angestiegen (BFS 2012). Diese beinhaltet Industriearaele, Gebäude, Verkehrsflächen, besondere Siedlungsflächen und Erholungs- und Grünanlagen. Die Siedlungsfläche pro Person im Kanton Basel-Stadt nahm zwischen der Erhebung 1992/97 und 2004/09 um rund 7% zu (ARE 2012).

Da nur eine geringe Zunahme der Siedlungsfläche erwartet wird, ist mit einer zunehmenden Verdichtung zu rechnen. Aufgrund der oben beschriebenen Bevölkerungsentwicklung kann davon ausgegangen werden, dass der Druck auf die bestehenden Siedlungsflächen zunimmt.

Es wird angenommen, dass die gesamte Siedlungsfläche bis 2060 nur geringfügig zunehmen wird, da die Verhältnisse bereits heute beengt sind. Die damit verbundenen Auswirkungen in Bezug auf die betrachteten Wirkungsbereiche und deren Gefahren und Effekte dürften daher für die klimabedingten Veränderungen eher geringe Auswirkungen haben (beispielsweise leichte Zunahme des städtischen Wärmeinsel-Effekts).

Literatur Kapitel 4

- ARE 2012:** Analyse der Trends der Siedlungsflächenentwicklung im Mittelland, im Jura und in Teilen der Alpen. Auswertung aus raumplanerischer Sicht auf Basis der Arealstatistik Schweiz des Bundesamts für Statistik. September 2012.
- BFS 2012:** Arealstatistik 1979/85, 1992/97, 2004/09: Entwicklung der Bodennutzung und – bedeckung in den Kantonen nach 4 Hauptbereichen. Bundesamt für Statistik BFS, Ausgabe 20120821, Neuchâtel.
- BFS 2010a:** Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010-2060. Bundesamt für Statistik - BFS, Neuchâtel.
- BFS 2010b:** Kantonale Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung – Altersstruktur der Kantone 2010 – 2035. Bundesamt für Statistik – BFS, Neuchâtel.
- EBP/SLF/WSL 2013a:** Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL 2013b:** Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL 2013c:** Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz, nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- INFRAS 2015:** Städtischer Wärmeinsel-Effekt – Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf. Infrass im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt - BAFU, 2015.
- INFRAS/Egli Engineering 2015:** Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf 2060. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU, 2015.
- MeteoSchweiz 2014d:** Lieferung spezifischer Daten zur Temperatur, Niederschlag und verschiedener Klimaindikatoren für Klimaszenarien 2060 – Kanton Basel-Stadt und Genf, unpubliziert. Diverse E-Mails von Elias Zubler (MeteoSchweiz) an Mario Betschart (INFRAS), 2014.
- Rajczak, J., Pall, P. and Schär C. 2013:** Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, 1-17.
- Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt 2014:** Statistischer Atlas Basel-Stadt, 2014.
[\[http://www.statistik-bs.ch/tabellen/t01/1\]](http://www.statistik-bs.ch/tabellen/t01/1) [15.01.2015]

5. Risiken und Chancen des Klimawandels um 2060 pro Auswirkungsbereich

5.1. Schwerpunkte der Analyse

Abbildung 24: Relevanzmatrix Basel-Stadt								
Bereich der Veränderung	Intensivniederschläge		Mittlere Niederschläge		Extremtemperatur		Mittlere Temperatur	Wind
Gefahren und Effekte	Hochwasser	Gewitter (inkl. Erosion)/ Hagel	Änderung im Niederschlagsregime	Allgemeine Trockenheit	Kältewelle	Hitzewelle	Veränderung Mitteltemperatur	Sturm / Orkan
Auswirkungsbereiche:								
Gesundheit								
Energie (Erzeugung/Verbrauch)								
Infrastrukturen und Gebäude								
Wasserwirtschaft (Ver- und Entsorgung)								
Biodiversität/Grünflächen								
Hohe Relevanz, quantitativ analysiert Relevant, quantitativ analysiert Hohe Relevanz, qualitativ analysiert Relevant, qualitativ analysiert Nicht analysiert								

Übersicht über die Gefahren und Effekte pro Auswirkungsbereich und deren Relevanz und Detailierungsgrad der Analyse für Basel-Stadt.

5.2. Auswirkungsbereich Gesundheit

Gesundheit heute und Bezug zum Klimawandel

Direkte Auswirkungen des Klimawandels:

Eine Änderung des Klimas beeinflusst die Gesundheit der Menschen sowohl positiv als auch negativ auf vielfältige Weise. Häufigere Extremereignisse wie Überschwemmungen, Stürme und Hitzewellen können tödliche Folgen haben (OcCC 2007). Letzteres dürfte im Kanton Basel-Stadt, abhängig von den Ereignissen, nicht ganz unwichtig sein, wenn auch eine vernünftige Prognose schwierig ist.

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels:

Das Auftreten von Parasiten und damit verbundenen Krankheiten, wie beispielsweise die durch Zecken übertragene Hirnhautentzündung (FSME) oder durch Wasser- und Nahrungsmittel übertragene Krankheiten wie Salmonellose könnten im Zuge des Klimawandels verändert werden. Weiter steigt die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen mit zunehmenden Temperaturen an (OcCC 2007). Es ist jedoch unklar, inwieweit die Klimaänderung das Auftreten von Krankheiten tatsächlich beeinflusst.

Gemäss IPCC (2014) kann der Klimawandel indirekt eine Rolle spielen bei der Verteilung von Dengue-Fieber, Malaria, Leishmaniose, Chikungunya, zeckenübertragene Krankheiten, Gelbfieber, West-Nil-Fieber und Krim-Kongo hämorrhagische Fieber. Viele dieser indirekten Risiken dürften in der Schweiz insgesamt bis 2060 eine untergeordnete Rolle spielen. Für das Fallstudiengebiet Kanton Basel-Stadt ist dieser Punkt hingegen differenziert zu betrachten.

Das Fallstudiengebiet ist das Ein- und Ausgangstor für den Warenverkehr auf der Nord-Süd-Achse. Daher ist es anfälliger für Zoonosen¹⁴ bzw. ist es eine wichtige Monitoringstation bspw. für invasive Insekten wie die asiatische Tigermücke, welche Überträgerin von Krankheiten wie Chikungunya oder Dengue-Fieber ist. Das Risiko von Zoonosen ist daher in der Region Basel höher als im Rest der Schweiz (mit Ausnahme des Tessins). Bis 2060 dürfte die rein klimabedingte Zoonose gering sein (mit Ausnahme der Steckmücken, siehe unten). Sie ist vielmehr durch den steigenden Personen- und Güterverkehr geprägt. Gegen Ende des Jahrhunderts dürfte das Klimasignal zusehends an Bedeutung gewinnen.

¹⁴ Zoonosen sind von Tier zu Mensch und von Mensch zu Tier übertragbare Infektionskrankheiten. Siehe dazu <http://www.blv.admin.ch/themen/03605/04710/index.html?lang=de> (19.12.2014)

Gemäss OcCC (2007) sind auch einzelne positive indirekten Entwicklungen zu erwarten. Kälte- wellen und Frostperioden werden bis 2060 abnehmen. Mit der zunehmender Erwärmung nehmen deren Häufigkeiten ab, was indirekte Folgewirkungen auf die Anzahl Todesfälle haben wird, obschon diese Problematik in der Schweiz im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern von untergeordneter Bedeutung ist.

Ökonomische Auswirkungen und Veränderung der Lebensqualität infolge des Klimawandels:

Die Auswirkungen, die das sich ändernde Klima mit sich bringt, können zumindest teilweise quantifiziert werden. Die Betrachtung liegt dabei meist auf ökonomischen Grössen, die sich bis 2060 in einer gut abschätzbaren Bandbreite verändern werden. Daneben gibt es aber eine Vielzahl von Auswirkungen die sich insbesondere auf die generelle Lebensqualität auswirken und sich weder quantifizieren noch im Sinne dieser Studie qualitativ abschätzen lassen. So kann zum Beispiel eine mit dem Klimawandel mögliche einhergehende Verschlechterung der Luft- qualität zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens führen, ohne dass dabei Auswirkungen bei der Sterberate oder der Anzahl Arztbesuche feststellbar werden. Somit besteht in diesen Fällen auch keine verlässliche Referenz, mit der vernünftige Abschätzungen vorgenommen werden können. Ein qualitativer oder gar quantitativer Vergleich ist daher nicht möglich. Verschiedene Studien weisen jedoch auf solche „versteckten“ Risiken oder Chancen hin und sollten im Sinne einer Gesamtbetrachtung als mögliche Optionen im Hinterkopf behalten werden.

Gesamtheitliche Betrachtungsweise

Es werden Auswirkungen einzelner Gefahren und Effekten und deren Ursachen quantitativ und qualitativ analysiert, wo dies zulässig ist. Vollumfängliche Wirkungsketten oder nachgelagerte Auswirkungen im Sinne einer gesamten Betrachtungsweise (One Health) müssen offen gelassen werden. Der Klimawandel könnte aber im Zusammenleben von Mensch und Tieren neue Probleme hervorrufen oder verstärken, auf die entsprechend reagiert werden muss. Die gesundheitlichen Aspekte des Klimawandels betreffen daher nicht nur die Menschen sondern auch die Tiere des jeweiligen Lebensraumes und im Schluss erneut den Menschen. Als Beispiel seien hier die Hitzewellen erwähnt. Die Auswirkungen auf die (Haus-)Tiere lassen sich zurzeit weder quantitativ noch qualitativ abschätzen und sind daher bei der Analyse nicht weiter thematisiert. Dennoch sollte man sich in Zukunft auch der Frage stellen, wie die Tiere auf extreme Hitzeereignisse reagieren werden und welche Folgewirkungen daraus für die menschliche Gesundheit zu erwarten sind. Die gesamtheitliche Betrachtungsweise wirft neue und komplexe Fragen auf, welche in Zukunft unbedingt genauer untersucht werden sollten.

5.2.1. Analyse der Gefahren und Effekte 2060

Gefahren und Effekte welche im Auswirkungsbereich Gesundheit von Relevanz sind (siehe Relevanzmatrix im Kapitel 5.1), werden entsprechend ihrer Priorität und der Datenverfügbarkeit in quantitativ und qualitativ zu behandelnde Gefahren und Effekte eingeteilt (Tabelle 5). Auswirkungen die sich quantitativ analysieren lassen, werden im Weiteren vertieft behandelt.

Qualitativ abschätzbare Auswirkungen und deren Folgewirkungen werden qualitativ erläutert. Die qualitativen Auswirkungen werden aber bei der Gesamtbeurteilung stets mitberücksichtigt, da insbesondere hier zum Teil grosse Risikopotenziale vorhanden sind. Die Unterteilung soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch qualitative Auswirkungen prioritär sind, aufgrund mangelnder Datengrundlagen aber nicht quantitativ analysiert werden können.

Tabelle 5: Überblick der analysierten Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Gesundheit		
Gefahr/Effekt	Quantitativ analysierte Auswirkungen	Qualitativ analysierte Auswirkungen
Hochwasser	-	Qualitative Ausführungen über Personenschäden.
Kältewelle	-	Qualitative Ausführungen im Zusammenhang mit Kälteereignissen.
Hitze/Hitzewelle	Verminderte Arbeitsleistung infolge hoher Temperaturen bei Hitzeereignissen. Erhöhte hitzebedingte Sterberate aufgrund der Zunahme von Hitzeereignissen unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinselleffekts (urban heat island) von Basel.	Erhöhte Pollenbelastung als indirekter Effekt einer verlängerten Vegetationsperiode. Zunahme der hitzebedingten Spitaleinweisungen.
Veränderung Mitteltemperatur (Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur)		Über Lebensmittel übertragene Infektionskrankheiten (z.B. Campylobacter, Salmonellen, Listerien, VTEC (verotoxingbildende E. coli). Erhöhtes Risiko vektorübertragener Infektionskrankheiten. Erhöhtes generelles Allergierisiko aufgrund neuer allergenen Pflanzen. Ausbreitung von Zecken mit Folgen für die durch Zecken übertragene Hirnhautentzündung (FSME). Vordringen bestimmter Stechmücken und Fliegenarten, die verschiedene Infektionskrankheiten übertragen (West-Nil- und Dengue-Fieber).

Quantitativ und qualitativ zu analysierende Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Gesundheit.

a) Gesundheit: Hochwasser

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Aufgrund der dünnen Datenlage scheint eine zuverlässige Aussage zur Entwicklung der Anzahl Todesopfer und Verletzten infolge Hochwasser sehr schwierig. Das Unfallrisiko hängt insbesondere vom Verhalten einzelner Personen und der Befolgung behördlicher Anweisungen zusammen. Eine seriöse quantitative Abschätzung ist daher nicht möglich, wodurch eine qualitative Einordnung dieser Gefahr vorgenommen wird.

Qualitative Auswirkungen

Das Auftreten von Hochwasser wird sich bis ins Jahr 2060 mit grosser Wahrscheinlichkeit verändern. In dieser Studie wurde durch das Autorenteam eine Zunahme abgeschätzt (siehe auch INFRAS/Egli Engineering 2015a). Im Kanton Basel-Stadt ist das Risiko heute aufgrund von Hochwassersituation ernsthaft verletzt oder gar getötet zu werden nahezu inexistent. Die Gefahr eines Hochwassers kündigt sich meist genug früh an, wodurch der Personenschutz gewährleistet werden kann. Wirkliche Gefährdung besteht meist nur für die Infrastrukturen. Dies ist jedoch auch von der Intensität der einzelnen Ereignisse abhängig. Weiter spielt das individuelle Verhalten jeder einzelnen Person eine entscheidende Rolle. So ist das Befolgen von behördlichen Anordnungen (beispielsweise Meidung eines abgesperrten Gebietes, Räumung von Häusern usw.) mitunter entscheidend, ob das einzelne Ereignis zu Todesopfern führt oder nicht.

Die klimabedingte Veränderung von Hochwasser dürfte sich daher im Allgemeinen kaum direkt auf die Anzahl Todesopfer und Verletzte auswirken. Diese Betrachtung gilt jedoch nur für den erwarteten Mittelwert, wo man davon ausgeht, dass sich das Verhalten der Bevölkerung gegenüber Hochwasser nicht ändert. Es können keine Abschätzungen zu extremen Hochwasserereignissen gemacht werden, die über die heutige Vorstellung hinausgehen. Rückkoppelungseffekte wie das Auftreten von möglichen Infektionskrankheiten aufgrund optimaler Bedingungen für die Krankheitsüberträger (Mücken und andere Insekten) im Anschluss an ein Hochwasserereignis lassen sich heute nicht abschätzen. Ein solches Szenario könnte jedoch durchaus eintreten.

Setzt man diese qualitative Aussage der Gesamtheit der quantifizierten Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Gesundheit gegenüber, so kann man davon ausgehen, dass die Auswirkungen der Hochwasserereignisse auf die Gesundheit insgesamt irrelevant sind (ohne Betrachtung von extremen Ereignissen). Diese Einschätzung des Autorenteam deckt sich auch

mit den Ausführungen des Klimafolgenberichts des Kantons Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

Entgegen den Vorgaben des Methodenberichts (EBP/WSL/SLF 2013a) sollen die qualitativen Auswirkungen von Hochwassern im Auswirkungsbereich Gesundheit als irrelevant eingeordnet werden, wodurch weder zusätzliche Kosten noch zusätzliche Erträge in die Gesamtbilanz aller quantitativen und qualitativen Gefahren und Effekte einfließen.

b) Gesundheit: Kältewelle (Frosttage)

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Gemeinhin wird erwartet, dass sich im Mittel die Kälteperioden und Frosttage vermindern. Damit verbunden auch eine Reduktion des Auftretens von Schnee, Eis und Glätte, was wiederum zu Reduktionen von Unfällen im Strassenverkehr und von Freizeitaktivitäten führen kann.

Qualitative Auswirkungen

Anders als beispielsweise in der Fallstudie Uri (INFRAS/Egli Engineering 2015b) ist diese Problematik, respektive Chance im Verhältnis zu den quantifizierten Kosten im Kanton Basel-Stadt von untergeordneter Bedeutung. Dies deckt sich mit der Einschätzung des Basler Klimafolgenberichts (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Eine Reduktion der Kälteperioden kann zur Vernachlässigung des Kälteschutzes und der nötigen Vorsicht vor den damit verbundenen Gefahren (beispielsweise Eisglätte) führen (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Die Autoren schreiben dazu weiter, dass sich andererseits bei höheren Umgebungstemperaturen das Freizeitverhalten der Bevölkerung ändern kann und zwar im positiven (mehr Aktivitäten draussen) wie im negativen Sinne (risikoreichere Aktivitäten draussen).

Eine Studie, die die Mortalitätsraten bei Kältewellen von 15 europäischen Städten untersuchte, kam zum Schluss, dass bereits bei einer Minderung der Temperatur um 1°C eine um 1.35% erhöhte Anzahl natürlicher Todesfälle eintritt, wobei insbesondere kardiovaskuläre, respiratorische und cerebrovaskuläre Todesfälle betroffen sind (Analitis et al. 2008). Die Zunahme ist für ältere Altersgruppen generell höher. Die Autoren weisen drauf hin, dass durch Kälte hervorgerufene Todesfälle ein wichtiges Gesundheitsproblem in Europa darstellen und trotz der Tendenz zu immer wärmeren Mitteltemperaturen nicht unterschätzt werden dürfen.

Unter dem Strich darf im Zusammenhang mit Kälteereignissen jedoch davon ausgegangen werden, dass sich diese im Kanton Basel-Stadt eher positiv auswirken werden, da insbesondere eine Reduktion der Personenunfälle infolge Eis, Schneeglätte und Schneematsch zu erwarten sein dürfte.

Nicht abschätzen lässt sich eine Veränderung der Luftschadstoffkonzentrationen aufgrund einer geringeren Anzahl Kältewellen. Es kann heute nicht abgeschätzt werden, wie die Kältewellen im Generellen mit der Anzahl Inversionslagen im Winter zusammenhängt, was einer der Haupttreiber für hohe Luftschadstoffkonzentrationen darstellt. Eine Abnahme der Häufigkeit von Kältewellen könnte zudem auch zu geringeren Luftschadstoffkonzentrationen führen, da aufgrund des geringeren Heizbedarfs weniger Emissionen durch Heizungen entstehen. Die Zusammenhänge lassen sich jedoch nicht quantifizieren oder im Sinne einer qualitativen Untersuchung abschätzen. Fundierte Ergebnisse liegen nicht vor.

Gemäss Vorgehen zur Einschätzung der qualitativen Auswirkungen (siehe dazu auch Kapitel 3.2.2) nach der Methodik des Methodenberichts (EBP/WSL/SLF 2013a) dürften die quantifizierte Summe dieser qualitativen, positiven Effekte insgesamt geringer (Faktor 1/3) sein als die Summe der übrigen quantifizierten und abgeschätzten Kosten im Auswirkungsbereich Gesundheit. Es könnten daher Kosteneinsparungen von rund 88 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario schwach* und rund 194 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario stark* bis 2060 eintreten (das entspricht einem Drittel der quantifizierten Kosten von 266 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario schwach* und 582 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario stark*, siehe Abschnitt 5.2.2. und INFRAS 2014).

c) Gesundheit: Hitze/Hitzewellen (Hitzetage)

Betrachtete Bereich, Relevanz und Vorgehen

Für den menschlichen Organismus können im Zusammenhang mit klimabedingten Veränderungen insbesondere die Zunahme der Temperatur und die Intensivierung von Hitzeperioden und einzelner Hitzetage zu spürbaren Mehrbelastungen, Stress, Erschöpfung und verminderter Leistungsfähigkeit bis hin zu Todesfällen führen. Für die vorliegende Klimarisikoanalyse des Kantons Basel-Stadt wurde der Auswirkungsbereich Gesundheit in Verbindung mit Hitze und Hitzewellen mit Hilfe von Experteneinschätzungen zu einer der bedeutendsten Gefahren und Effekte eingestuft (siehe Relevanzmatrix im Abschnitt 5.1).

Für die Fallstudie Kanton Basel-Stadt werden zwei Aspekte im Zusammenhang mit Hitze und Hitzewellen detailliert betrachtet und quantitativ abgeschätzt. Auf der einen Seite sind dies die entstehenden Produktivitätsverluste im Zusammenhang mit einer verminderten Arbeitsleistungsfähigkeit bei Tagen mit Temperaturen >30°C. Dieser Ansatz wurde bereits in der Fallstudie Uri (INFRAS/Egli Engineering 2015b) angewandt.

Auf der anderen Seite werden im urbanen Raum zusätzlich auch die Anzahl hitzebedingter Todesfälle (Mortalitätsrate) analysiert. In diesem Zusammenhang haben verschiedene Studien gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen Mortalitätsrate und hohen Temperaturen besteht

(e.g. Robine et al. 2007; Grize et al. 2005). Gemäss Patz et al. (2005) ist die hitzebedingte Sterblichkeit einer der direkten Hauptauswirkungen für den Menschen im Zuge des Klimawandels. Die Anzahl hitzebedingter Todesfälle werden mit Hilfe des Hitzesommers 2003 und der vorhandenen Daten aus der Literatur für einen Extremzustand heute hergeleitet.

Della-Marta et al. (2007) konnten zeigen, dass sich in Europa die Länge der Sommerhitzewellen zwischen 1880 und 2005 bereits verdoppelte und die Frequenz von heissen Tagen sich beinahe verdreifachte.

Die komfortabelste und für den Menschen sicherste Temperatur befindet sich nahe der Mitteltemperatur (Patz et al. 2005), welche global betrachtet bei rund 14°C liegt und für Basel rund 10.5°C beträgt. Grize et al. (2005) und Robine et al. (2007) haben gezeigt, dass bei Extremereignissen wie dem des Hitzesommers 2003 eine erhöhte Mortalitätsrate bei der Gesamtbevölkerung feststellbar ist. Im Zuge des Klimawandels mit zunehmend höheren Mitteltemperaturen wird auch ein Anstieg der Extreme erwartet (CH2011 2011), was auch mit der Anzahl Hitzeperioden und der Anzahl heisser Tage übereinstimmt. Ausgehend vom Extremereignis 2003 können Klimavariabilität in Verbindung mit dem langfristigen Klimawandel für die zukünftige Risikoeinschätzung mindestens so wichtig werden wie der zunehmende Trend der Mitteltemperatur (Patz et al. 2005).

Betrachtet man die Problematik von Hitzeperioden auf einer grösseren Skala, wird ersichtlich, dass dieses Thema keines Falls von untergeordneter Bedeutung ist. Gemäss Swissre (2014) waren Dürren, Buschbrände und Hitzewellen im Jahr 2013 bereits die am meisten auftretende Naturgefahr, gemessen an deren Anzahl, gleich hinter Überschwemmungen, Stürmen und Erdbeben. Die Weltbank führt den europäischen Hitzesommer 2003 mit 70'000 zusätzlichen Todesopfern in ganz Europa als einer der tödlichsten Events im Zusammenhang von Klimawandel und dessen Auswirkungen (The World Bank 2012).

In Deutschland liess Baden-Württemberg eine Studie zu den Fakten und Folgen des Klimawandels erstellen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft: Baden-Württemberg 2012). Innerhalb der Studie wurden unter anderem auch die zu erwartenden hitzebedingten Todesfälle für den Zeithorizont um 2055 berechnet. Es wird erwartet dass bis 2055 jährlich 180 bis 400 hitzebedingte Todesfälle eintreten könnten.

Aufgrund der erwarteten Verschärfung der Hitzeproblematik, wird im Rahmen der vorliegenden Klimarisikoanalyse der Gefahr Hitze besondere Aufmerksamkeit geschenkt und entsprechend detaillierter betrachtet als übrige Gefahren und Effekt.

Exkurs: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 in Bezug auf die Sterberate

Der Hitzesommer 2003 war in grossen Teilen Europas ein Extremereignis jenseits aller Erfahrungswerte. Auch wenn die Unsicherheiten in Bezug auf die Klimainformationen früherer Jahrhunderte berücksichtigt werden, war der Sommer 2003 gesamteuropäisch mit grosser Wahrscheinlichkeit der wärmste seit mindestens 500 Jahren (OcCC/SCNAT 2005). In der Schweiz wurden rund 1000 (~ +7%) durch die Hitzewelle bedingte Todesfälle registriert (OcCC/SCNAT 2005). Die Zahlen reichen von 975 zusätzlichen oder verfrühten (Grize et al. 2005) bis zu 1039 Todesfällen (Robine et al. 2007). Gemäss Grize et al. (2005) verhielt sich die Mortalitätsrate in den Sommermonaten zwischen den Gebieten nördlich der Alpen und südlich der Alpen sehr unterschiedlich. Südlich der Alpen (Tessin und Wallis) wurde eine leichte Steigerung von gut 2% gegenüber der Referenzperiode 1990-2002 registriert. Betrachtet man nur das Tessin so wurde beispielsweise in Lugano sogar eine negative Korrelation festgestellt (-3%), die statistisch jedoch nicht signifikant war. Für die urbanen und sub-urbanen Gebiete der Schweiz, zu welchen auch die Kernstadt und das Agglomerationsgebiet von Basel-Stadt gehören, wurden Zunahmen der Mortalitätsraten von rund 8% (urban) oder gar 10% (sub-urban) beobachtet, wobei die Werte von 4.6-11.3% (urban) und 6.9-13.6% (sub-urban) mit 95% Signifikanzniveau reichten. Gesamteuropäisch wird die Zahl der Toten als Folge der Hitzewelle zwischen 35'000 (e.g. UNEP 2004; Kovats et al. 2004a; OcCC/SCNAT 2005; Kosatsky 2005) und 70'000 (e.g. Robine et al. 2007; The World Bank 2014) beziffert.

In der Schweiz waren insbesondere ältere Menschen und Bewohner und Bewohnerinnen der Städte und Agglomerationen aufgrund des städtischen Wärmeinseleffekts der Nord- und Westschweiz betroffen. In den Städten Basel (13.6 – 36.3%), Genf (8.4 – 27.4%) und Lausanne (1.6 – 26.6%) war die Zunahme der Mortalitätsraten besonders hoch (Grize et al. 2005; SCNAT 2005).

Um innerhalb der Klimarisikoanalysen dem Umstand der städtischen Wärmeinsel Rechnung zu tragen, wird für die Städte Basel-Stadt und Genf das additive Delta des Wärmeinseleffekts zur Mitteltemperatur für den Zustand heute und 2060 *Klimaszenario schwach und stark* dazu addiert (INFRAS 2015). Die Analysen zur verminderten Arbeitsleistungsfähigkeit und die Zunahme der Sterblichkeitsraten werden daher für Basel-Stadt mit Berücksichtigung des Wärmeinsel-Effekts durchgeführt. Der Effekt von Hitzewellen und generell von Hitze wird nämlich in Städten aufgrund des städtischen Wärmeinseleffekts noch verschärft (Patz et al. 2005). Wie in Grize et al. (2005) beschrieben wird, wurde im Sommer 2003 insbesondere für die Innerstädte in Basel-Stadt und Genf eine erhöhte Anzahl "sehr heisse Tage" festgestellt. Mit dem Zuschlag des Wärmeinsel-Effekts wird dieser Umstand entsprechend berücksichtigt.

Datenverfügbarkeit und Herleitung der Methodik

Verminderung der Arbeitsleistungsfähigkeit:

Um die Verminderung der Arbeitsleistungsfähigkeit, als eine Auswirkung auftretender Hitze/Hitzewellen/Hitzetage, zu quantifizieren, wird die heutige Anzahl registrierter Hitzetage¹⁵ mit derer im Jahre 2060 verglichen (siehe Abschnitt 4.1.1) und daraus die zusätzlich entstehenden Produktivitätseinbussen abgeschätzt. Die Klimamodelle lassen noch keine Abschätzungen von Indikatoren zu, welche auch die eigentliche Wärmebelastung (u.a. Feuchtigkeit) berücksichtigen. Aufgrund dessen wird vereinfacht auf die Anzahl Hitzetage zurückgegriffen.

Gemäss einer Studie des WWF Deutschlands (WWF 2007) kann die mentale und physische Leistungsfähigkeit bei Temperaturen über 26°C bereits abnehmen. Die Verringerung der Produktivität im Temperaturbereich von 26 bis 36°C kann zwischen 3% und 12% betragen (Bux 2006).

Gestützt auf dieser Studie wird durch das Autorenteam die mittleren jährlichen erwarteten Arbeitsleistungseinbussen infolge Hitzetage für heute und darauf basierend für das Jahr 2060 mit Hilfe der Bruttowertschöpfung (Mittelwert 2008-2011 : 26.8 Mia. CHF gemäss BFS 2013) von Basel-Stadt abgeschätzt. Das gleiche Vorgehen wurde schon für die Fallstudie Kanton Uri (INFRAS/Egli Engineering 2015b) angewandt.

Der so abgeleitete mittlere jährliche Erwartungswert in Bezug auf die Arbeitsleistungseinbussen kann daher gemäss Autorenteam für die heutigen Kosten, verursacht durch Hitzetage, als repräsentativ angeschaut werden, da auf diese Weise die ganze Leistungsfähigkeit der Wirtschaft von Basel-Stadt erfasst wird.

Um das 100-jährliche Ereignis abschätzen zu können, wird die oben beschriebene Analyse für den Hitzesommer 2003 angewendet. Im Sommer 2003 wurden an der Station Basel/Binningen rund 42 Hitzetage gezählt.

Erhöhte Mortalitätsraten der Gesamtbevölkerung:

Für die vorliegende Klimarisikoanalyse 2060 des Kantons Basel-Stadt soll die hitzebedingte Sterblichkeitsrate bezogen auf die Gesamtbevölkerung detaillierter analysiert werden.

Obwohl durch Hitzewellen insbesondere ältere und schwächere Menschen betroffen sind (Grize et al. 2005; Patz et al. 2005), werden im Rahmen der Risikoanalysen lediglich die Auswirkungen für die Gesamtbevölkerung betrachtet. Eine nicht veröffentlichte und nicht repräsentative

¹⁵ Hitzetage: Tage mit Maximaltemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$

tive statistische Analyse der Statistikamtes der Stadt Zürich konnte jedoch aufzeigen, dass beispielsweise im Hitzesommer 2003 nur die ältere Bevölkerungsschicht eine erhöhte Mortalitätsrate aufwies (Statistik Stadt Zürich 2004). Solch detaillierte Analysen werden im Rahmen der schweizerischen Klimarisikoanalysen nicht durchgeführt.

Die Methodik für die Fallstudie Basel-Stadt sieht dabei vor, die für den Sommer 2003 aus Grize et al. (2005) bestimmten zusätzlichen Hitzetode für die Stadt Basel in Verbindung mit dem Klimaindikator „sehr heisse Tage“¹⁶ zu bringen („sehr heisse Tage“ siehe auch INFRAS/Egli Engineering 2015a).

Während eines mittleren Sommers werden heute in Basel-Stadt nur einzelne Hitzetage registriert, wodurch sich statistisch kein Zusammenhang zwischen heissen Tagen und der Mortalitätsrate herleiten lassen. Für den mittleren Zustand heute werden also keine Kosten infolge einer erhöhten Mortalitätsrate erwartet. Zusätzlich wird der Hitzeindikator „sehr heisse Tage“ (e.g. Hemon et al. 2003; Grize et al. 2005) verwendet, um eine Abschätzung für die Veränderung bis ins Jahr 2060 vornehmen zu können. Im Gegensatz zum Zustand heute wird bis 2060 eine zunehmende Anzahl „sehr heisse Tage“ erwartet, wodurch sich auch zusätzliche vorzeitige hitzebedingte Todesfälle abschätzen lassen.

An der sub-urbanen Station (Agglomeration) Basel/Binningen wurden im Hitzesommer 2003 10 solcher „sehr heisse Tage“ gezählt. In der Innenstadt waren es sogar 13 „sehr heisse Tage“ (Grize et al. 2005). Gleichzeitig wurden im Sommer 2003 in Basel gemäss Grize et al. (2005) 128 zusätzliche Tote gezählt, was einer Zunahme gegenüber dem langjährigen Mittel (1990-2003) von 24.4% entspricht. Details bezüglich Methodik, Unsicherheiten und Annahmen können hierzu direkt aus Grize et al. (2005) entnommen werden.

Wie die Autoren der Studie weiter schreiben, wurde über den ganzen Sommer betrachtet lediglich in den Städten Basel und Genf eine signifikante und deutliche Zunahme der Sterblichkeit der Gesamtbevölkerung festgestellt. Vergleicht man die Daten (aus Grize et al. 2005) der Städte Bern und Zürich mit der Stadt Basel, so wird dieser Umstand deutlich. In Bern und Zürich wurden gemäss Studie nur gerade 10, respektive 47 zusätzliche Todesopfer über jenen des langjährigen Mittel registriert, was aus Betrachtung der Gesamtbevölkerung nicht signifikant war. Erhöhte Mortalitätsraten in urbanen Zentren werden dabei vor allem dem städtischen Wärmeineffekt zugeschrieben (Basu & Samet 2002; Junk et al. 2003), welcher in der vorliegenden Klimarisikoanalyse Basel-Stadt explizit berücksichtigt wird.

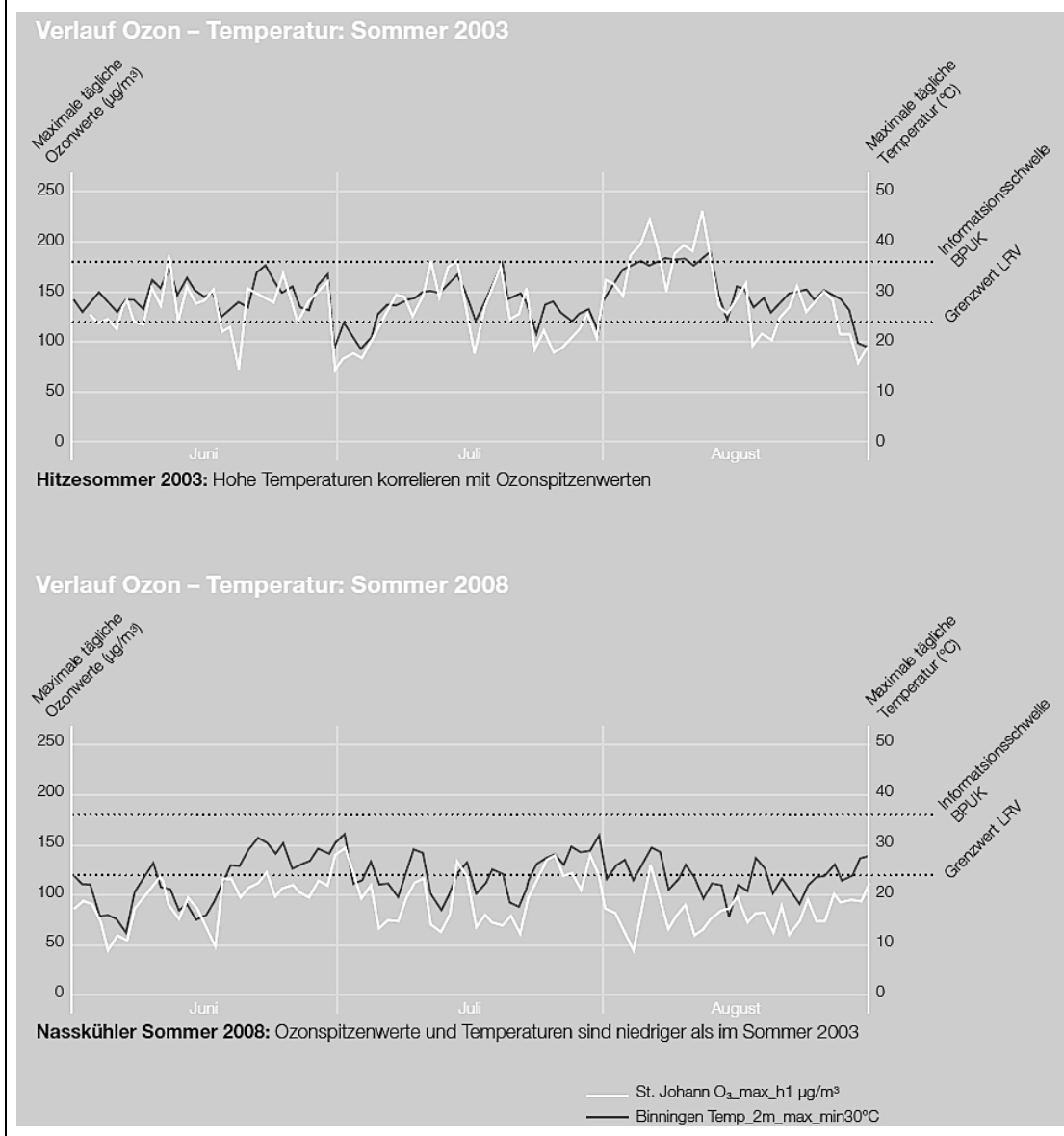
Vergleicht man die Sterblichkeitsraten mit der Anzahl „sehr heisse Tage“, so wird deutlich, dass gerade in den Städten Basel und Genf eine spürbar höhere Anzahl von hohen Tages- und

¹⁶ „sehr heisse Tage“ Tage mit Maximaltemperatur >35°C und Minimaltemperatur >20°C.

warmen Nachttemperaturen aufgezeichnet wurde. Die Kombination von Tagestemperaturen über 35°C und Nachttemperaturen über 20°C können die erhöhten Mortalitätsraten gemäss Grize et al. (2005) denn auch teilweise erklären. So wurden in Bern keine “sehr heisse Tage” und in Zürich gerade mal ein sehr heisser Tag aufgezeichnet, während eben in Basel-Stadt 10 (Basel/Binningen), respektive 13 (Kernstadt mit Wärmeinsel-Effekt) solcher Tage registriert wurden.

Weitere Einflüsse auf die erhöhten Mortalitätsraten können dem Ozon und anderen Luftschadstoffen zugeordnet werden. Den Einfluss der Ozonkonzentration auf die Sterblichkeit wurde e.g. durch Jerrett et al. (2009), Filleul et al. (2008) und Dear et al. (2005) untersucht und bewiesen. Die Eidgenössische Expertenkommission für Lufthygiene (EKL) schätzte, dass rund 13 bis 30% der zusätzlichen Toten während des Sommers 2003 auf die erhöhten Ozonwerte zurückzuführen sind (EKL 2004). Der Korrelationskoeffizient zwischen der täglichen Maximaltemperatur und der maximalen stündlichen Ozonkonzentration fürs fotochemische Ozon, welches sich leicht bei warmen und sonnigen Bedingungen bildet, war für die Alpennordseite im Sommer bei 0.8 (Grize et al. 2005). Dieser Umstand wird auch durch den Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt gestützt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Abbildung 25 zeigt den Verlauf der Ozonkonzentrationen in Basel-Stadt zusammen mit der maximalen täglichen Temperatur für den Hitzesommer 2003 (oben) und den kühlen Sommer 2008 (unten). Daraus wird deutlich, dass die Ozonkonzentrationen in Basel-Stadt ebenfalls stark mit der täglichen Maximaltemperatur korrelieren.

Für die Klimarisikoanalyse des Kantons Basel-Stadt soll dieser Umstand ebenfalls berücksichtigt werden. Vereinfacht wird hierzu angenommen, dass rund 20% der zusätzlichen Sterbefälle dem bodennahen Ozon zuzuschreiben sind, wobei dieses der mittleren jährlichen Tagesmaximaltemperatur folgt.

Abbildung 25: Korrelation zwischen Ozonspitzenwerten mit hohen Temperaturen

Korrelation von Ozonkonzentrationen und der täglichen Maximaltemperatur für den Hitzesommer 2003 (oben) und den kühlen Sommer 2008 (unten). Quelle: Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt (2011).

Aus den obigen Überlegungen heraus wird für die vorliegende Klimarisikoanalyse die Vereinfachung getroffen, dass die zusätzliche Sterblichkeit bei Hitzeereignissen zu 80% der Veränderung der Anzahl "sehr heisse Tage" folgt und zu 20% der Zunahme der mittleren Ozonbelastung, welche seinerseits der mittleren Tagesmaximaltemperatur folgt. Obwohl darin eine Reihe von Vernachlässigungen, Vereinfachungen und Annahmen enthalten sind, soll diese Methode den verschiedenen Aspekten der erhöhten Sterblichkeit bei Hitzeereignissen Rechnung tragen,

indem, wie oben dargestellt, die Informationen aus der Literatur auf pragmatische und approximative Weise verwendet werden, um daraus eine „best estimate“ Beurteilung für das Jahr 2060 zu ermöglichen. Berechnungsdetails können dabei aus INFRAS (2014) entnommen werden. Die Monetarisierung erfolgt gemäss Vorgaben des Methodenberichts (EBP/SLF/WSL 2013a).

Vorbehalte und Annahmen

Vorbehalte und Annahmen bei der Abschätzung der verminderten Leistungsfähigkeit:

Um eine Quantifizierung aufgrund der Datenlage vornehmen zu können, wird durch das Autorenteam vereinfacht angenommen, dass bei einem Hitzetag mittlere Einbussen der Leistungsfähigkeit von 7% auftreten, unabhängig davon, ob diese Temperatur für eine Stunde oder den halben Tag registriert werden. Auf der anderen Seite werden jedoch keine Berechnungen zu möglichen Leistungseinbussen bei Temperaturen zwischen 26 und 30°C vorgenommen.

Es wird durch das Autorenteam weiter angenommen, dass die Bruttowertschöpfung gleichmässig an 365 Tagen im Jahr erwirtschaftet wird. Alle Angestellten und Arbeitgeber aller Branchen sind gleichermaßen von der hitzebedingten Reduktion der Arbeitsleistungsfähigkeit betroffen. Allfällig vorhandene Klimaanlageanlagen und sonstige Kühleinrichtungen zur Reduktion der Hitzebelastung werden nicht berücksichtigt.

Der Begriff Hitzewellen umfasst im Zusammenhang mit gesundheitsrelevanten Fragestellungen lediglich die auftretenden Hitzetage, da eine offizieller Definition¹⁷ für Hitzewellen nicht vorhanden ist. Einzelne Events mehrerer zusammenhängender Hitzetage, wie sie beispielsweise in CH2011 (2011) mit „warm spell days“ angesprochen werden, wird es immer geben, bilden in dieser Studie aber nicht die Grundlage der Berechnungen, da der heutige Wert nicht bekannt ist und da mit dem angewendeten Ansatz nach WWF (2007) und Bux (2006) davon ausgegangen wird, dass bereits ein einzelner Hitzetag zu Reduktion der Arbeitsleistung führt.

Die Zunahme der Anzahl Hitzetage ist jedoch ausgeprägter als die Zunahme der „warm spell days“, wodurch die Anzahl Hitzetage das Klimasignal deutlicher abbilden und so eventuell auch zu einer Überschätzung der entstehenden Einbussen bis 2060 führen.

Bei der Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts wird vereinfacht angenommen, dass dieser auf der ganzen Kantonsfläche gleichermaßen wirkt, denn die Bruttowertschöpfung die zur Berücksichtigung der verminderten Arbeitsleistungsfähigkeit verwendet

¹⁷ Eine in der Literatur gängige Definition für eine Hitzewelle sind drei aufeinanderfolgende Tage mit Temperaturen über 30°C oder die sogenannten „warm spell days“ (siehe CH2011 2011).

wird, kann auch nur auf die Ebene Kanton aufgelöst werden. Es ist daher nicht möglich zwischen Agglomerationsgebieten und der Kernstadt zu unterscheiden.

Für das 100-jährliche Ereignis geht man davon aus, dass das heute bekannte Beispiel des Hitzesommer 2003 den mittleren projizierten Veränderungen für die mittlere Anzahl Hitzetage in Basel-Stadt folgt (Klimaszenario schwach: +70%, Klimaszenario stark: +170%, siehe Abschnitt 4.1.1). Für das 100-jährliche Ereignis wird der städtische Wärmeinseleffekt ebenfalls berücksichtigt. Da es sich gemäss OcCC (2005) beim Hitzesommer 2003 eher um ein 500 jährliches Ereignis handelt, dürfte die Bandbreite die von der vorliegenden Studie angestrebt wird, abgedeckt werden, auch wenn der Wärmeinsel-Effekt beim 100-jährlichen Ereignis nicht weiter differenziert wird.

Vorbehalte und Annahmen bei der Abschätzung hitzebedingten Mortalitätsraten:

Zur Abschätzung der erhöhten Mortalitätsraten 2060 infolge Hitzeereignisse im Kanton Basel-Stadt wurde eine Reihe von Annahmen und Vernachlässigungen vorgenommen, welche es jedoch im Rahmen dieser angewandten Studie erst erlauben grobe Quantifizierungen als „best estimate“ vorzunehmen.

Für die quantitativen Abschätzungen wird einer von der Jahreszeit abhängiger mittlerer additiver Wärmeinsel-Zuschlag gemäss INFRAS (2015) angewandt. Der Zuschlag bewegt sich für Basel-Stadt im Bereich von 0.6 – 1.4 K. Der Wärmeinsel-Zuschlag wird für die ganze Kantonsfläche gleichermassen angewandt. Das Hitzeereignis 2003 bildet dabei die Basis für ein 100-jährliches Ereignis heute. Da jedoch nur ein extremes Ereignis wie jenes des Hitzesommers 2003 die hitzebedingten Mortalitätsraten überhaupt aufzudecken vermag, wird dieses Ereignis wiederum auch dazu verwendet, die mittlere jährlichen Mortalitätsraten je Klimaszenario für das Jahr 2060 abzuschätzen, in dem die Zahlen linear heruntergebrochen werden. Die in Grize et al. (2005) ausgewiesenen zusätzlichen hitzebedingten Todesopfer gelten nur für die Stadt Basel selbst. Für die Agglomerationsgebiete werden keine Kostenschätzungen vorgenommen, da deren Sterblichkeitsraten nicht bekannt sind. Es kann eher davon ausgegangen werden, dass die Daten der Stadt Basel auch Todesfälle der umliegenden Gemeinden des Kantons- Basel-Stadt enthalten, da diese in den Spitälern der Stadt verzeichnet wurden. Insofern ist die Anwendung des Wärmeinsel-Zuschlags im Zusammenhang mit den Daten aus Grize et al. (2005) zulässig.

Die oben gemachten Vereinfachungen, dass 20% der hitzebedingten Sterbefälle auf bodennahes Ozon zurückzuführen sind und 80% auf die eigentliche Hitze sind weitere nötige Vorbehalte. Die lineare Annahme, dass die mittleren jährlichen Ozonwerte der mittleren jährlichen Maximaltemperatur folgen und die hitzebedingte Sterblichkeitsrate der Entwicklung der „sehr

heissen Tage“ folgt, verstehen sich als pragmatische Ansätze, die sich jedoch auf wissenschaftliche Grundlagen stützen.

Gemäss Hajat et al. (2002) haben heisse Tage die zu Beginn der Sommersaison auftreten einen grösseren Effekt auf die Mortalität, als solche die spät auftreten.

Bei den projizierten quantitativen Abschätzungen im Sinne von „best estimates“ wird immer vorausgesetzt, dass sich die Änderungen der Hitzetage eins zu eins in Kosten ummünzen lassen. Dabei wird immer auch vorausgesetzt, dass bis ins Jahr 2060 keine Trends vorhanden sind, also die Änderung der Extreme (e.g. „sehr heisse Tage“) pro Grad Erhöhung der Mitteltemperatur gleich bleibt und sich diese linear verhalten.

Zur Berücksichtigung der Ozonbelastung wurde die jährliche mittlere Tagesmaximaltemperatur als Hilfsgrösse zur Seite gezogen, um daraus die Veränderung bis 2060 abzuleiten. Da diese Grösse geglättet ist, wird zwar die mittlere jährliche Veränderung abgebildet, jedoch nicht die maximalen täglichen 1-Stundenwerte, wie sie bei Hitzewellen auftreten. Diese Quantifizierungen sind daher eher konservative Abschätzungen, da die Spitzenwerte eventuell deutlich mehr zunehmen könnten. Es wird in diesem Zusammenhang auch angenommen, dass bei der heutigen mittleren Sommermaximaltemperatur (Juni, Juli, August) keine Todesopfer zu erwarten sind und die Ozonbelastung erst problematisch wird, wenn der heutige bekannte Wert im Mittel überschritten wird.

Im Weiteren gelten die Limitierungen der einzelnen zitierten Studien, insbesondere jene aus Grize et al. (2005).

Bei der Monetarisierung der Anzahl vorzeitiger hitzebedingter Todesfälle gilt festzuhalten, dass, wie schon im Methodenbericht (EBP/SLF/WSL 2013a) beschrieben, die Kosten zur Verhinderung eines Todesfalles bei 5 Mio. CHF angesetzt sind und keine Unterscheidung nach Altersklassen vorgenommen wird. Diese Summe versteht sich als Investition zur Vermeidung eines Todesfalles, für welchen die Gesellschaft bereit ist, den Betrag von 5 Mio. CHF aufzuwenden. Dies wiederum bedeutet, dass die Anzahl verlorener Lebensjahre bei der Monetarisierung nicht berücksichtigt wird, was im Falle von Hitzeereignissen tendenziell zu einer Überschätzung der Kosten führt.

Eine hohe Anzahl auftretender Hitzetage pro Jahr von noch nie dagewesenen Ausmassen aufgrund des Zusammentreffens verschiedener begünstigenden Faktoren (positive Rückkopplungen) können nicht analysiert werden. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Kosten deswegen um einiges höher ausfallen könnten, als in den unten aufgeführten Berechnungen.

Qualitative Auswirkungen

Direkte Auswirkungen der Hitzewellen sind zum Beispiel hitzebedingte Herzkreislaufprobleme, Hitzschlag, Dehydrierung und Hyperthermie¹⁸ (Thommen und Braun-Fahrlander 2004; OcCC/SCNAT 2005). Besonders häufig betroffen sind ältere Menschen die über eine schlechtere Wärmeregulation verfügen (OcCC/SCNAT 2005). Weitere Risikogruppen bilden Personen mit vorbestehenden Krankheiten, Kleinkinder, chronisch kranke Personen, Personen mit Gedächtnisstörungen oder Erinnerungslücken, Personen mit niedrigem Einkommen, Alleinstehende, sozial isolierte und bettlägerige Menschen und Personen unter bestimmter medikamentöser Behandlung (psychotrope Substanzen, etc.). Solche Auswirkungen können jedoch nicht eindeutig monetarisiert werden.

Des Weiteren wurden keine Auswirkungen aufgrund von hohen Pollenbelastungen oder sonstigen auftretenden Luftverschmutzungen - mit Ausnahme von Ozon - quantifiziert (monetarisiert), welche häufig im Zusammenhang mit stationären Wetterlagen auftreten (inklusive stabilen Inversionslagen im Winter).

Das Klima hat jedoch einen indirekten Effekt auf die Pollenbelastung (Konzentration der Pollen in der Luft und die längere Vegetationsperiode). Sollten diese in Zukunft weiter zunehmen, ist mit einem erhöhten Risiko für eine zunehmende Anzahl der Bevölkerung in Bezug auf Allergien zu rechnen (OcCC 2007). Mögliche Auswirkungen sind zurzeit aber mehrheitlich unklar (e.g. zeitliche Verschiebung der Pollensaison, Zunahme der Pollenmengen, Förderung der Ausbreitung von wärmeliebenden (mediterranen) Pflanzen). Siehe dazu auch die qualitativen Ausführungen unter Punkt d).

Die zunehmende Hitzebelastung wird neben der Arbeitsleistungsverminderung und einer erhöhten Mortalitätsrate auch zur Zunahme von hitzebedingten Spitaleinweisungen führen. Dadurch sind zusätzliche Merhaufwendungen zu erwarten. Die Kosten lassen sich aber nicht quantitativ beziffern. Gemäss einer Untersuchung von Michelozzi et al. (2009) führt eine Zunahme der tatsächlich gefühlten Temperatur von 1°C zu zusätzlichen Hospitalisierungen von 3.1 bis 4.5%.

In der Summe all dieser qualitativen hitzebedingten Auswirkungen werden Mehrkosten verursacht. Die Mehrkosten sind aber im Vergleich zu den quantifizierten Beträgen gemäss Methodenbericht zu den Klimarisikooanalysen (EBP/SLF/WSL 2013a) als deutlich geringer einzustufen. Die zusätzlich abgeschätzten Kosten belaufen sich auf heute rund 11 Mio. CHF. Diese nehmen bis 2060 auf rund 27 Mio. CHF bei eintreffendem *Klimaszenario schwach* und rund 59 Mio. CHF bei eintreffendem *Klimaszenario stark* (siehe quantifizierte Werte zum Vergleich in Tabelle 6) zu.

¹⁸ Überhitzung

Quantifizierbare Auswirkungen

Die quantifizierbaren Mehrkosten im Auswirkungsbereich Gesundheit sind unten in Tabelle 6 aufgeführt¹⁹. Die Tabelle zeigt die Summe der quantifizierten Abschätzungen zur verminderten Arbeitsleistungsfähigkeit und den Mehraufwand der erhöhten Mortalitätsraten infolge grosser Hitze und der zunehmenden Ozonbelastung (INFRAS 2014). Die unten aufgeführten Zahlen zeigen die Situation mit Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts.

Tabelle 6: Kosten heute und um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten	Unschärfefaktor
Heute	-111	2
Szenario schwach	-268	3
Szenario stark	-585	3

Mittlere jährliche Kosten (negatives Vorzeichen) heute und 2060 im AWB Gesundheit infolge Hitze/Hitzewellen/Hitzetagen.

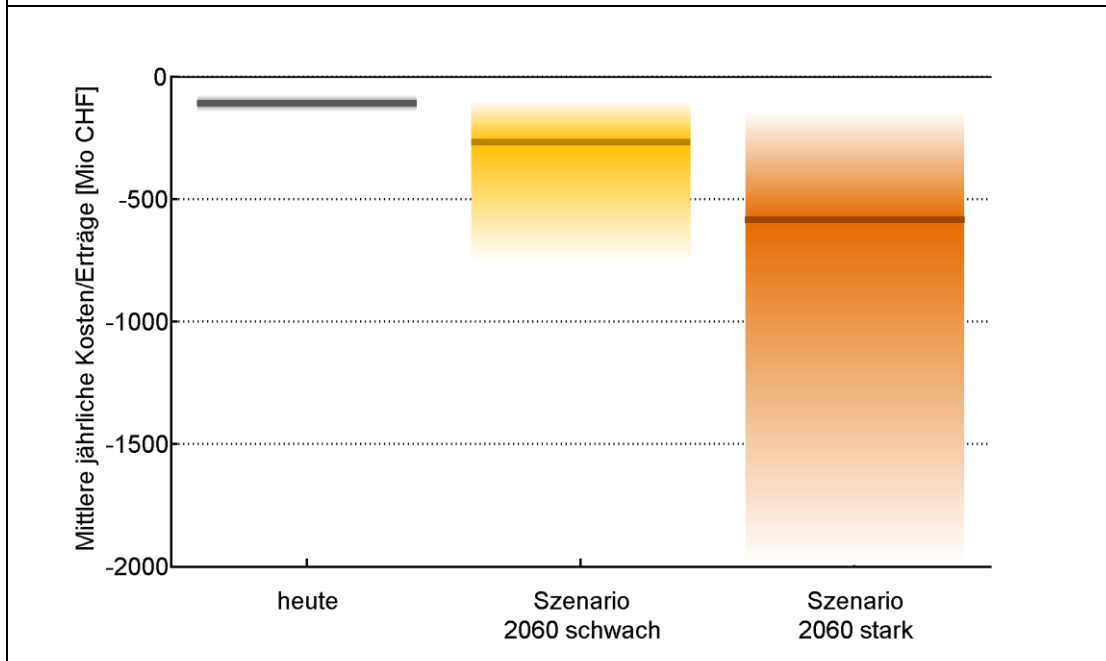
Tabelle 7: Kosten und Erträge um 2060		
100-jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	-858	3
Szenario schwach	-2175	3
Szenario stark	-4753	3

Durch 100-jährliche Hitzeereignisse verursachten Kosten im Auswirkungsbereich Gesundheit heute und 2060.

Die folgende Abbildung zeigt die erwartete Zunahme der mittleren jährlichen Kosten infolge Hitzewellen von heute rund 111 Mio. CHF auf rund 268 Mio. CHF unter dem *schwachen*, respektive rund 585 Mio. CHF unter dem *starken Klimaszenario*. Die Unsicherheiten sind jedoch für beide Szenarien gross.

¹⁹ Die detaillierten Berechnungen können in INFRAS 2014 eingesehen werden.

Abbildung 26: Mittlere jährliche Kosten durch Hitzewellen im AWB Gesundheit



Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

d) Gesundheit: Veränderung der Mitteltemperatur

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Die Veränderung der Mitteltemperatur ist ein schleichender Prozess. Die Jahresmitteltemperatur für die Schweiz wird bis Ende des Jahrhunderts gemäss den getroffenen Definitionen dieses Berichts zwischen $+1.2^{\circ}\text{C}$ (*Klimaszenario schwach*) und $+2.9^{\circ}\text{C}$ (*Klimaszenario stark*) zunehmen (siehe 4.1.1). Der Mensch wird die steigende Mitteltemperatur nicht direkt wahrnehmen können. Dennoch beeinflusst diese Zunahme eine Vielzahl von einzelnen (Extrem-) Ereignissen direkt und indirekt. Die resultierenden Effekte wie zum Beispiel zunehmende Hitzeperioden sind bereits heute spürbar und bestehende Massnahmen müssen erweitert werden. Solche Effekte sind in den Abschnitten oben ausführlicher beschrieben und sind nicht Bestandteil der direkten Auswirkungen einer steigenden Mitteltemperatur. Die direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die sich daraus ergeben, werden nur langsam sichtbar werden. Dennoch können einige wahrscheinliche Auswirkungen, bereits heute skizziert werden. Die unten aufgeführten Punkte decken sich zudem mit den Ausführungen aus dem Klimafolgenbericht des Kantons Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

Qualitative Auswirkungen

Infektionskrankheiten durch Nahrungsmittel:

Gemäss der Fallstudie Aargau (EBP 2013b) konnte kein Zusammenhang der steigenden Temperaturen und der Zunahme von nahrungsmittelübertragenen Krankheiten anhand von Daten gefunden werden. Die Epidemiologie der bislang bekannten Erreger (Campylobacter, Salmonellen, Enterohämorrhagische Escherichia coli, Listerien) ist, wenn die ganze Kette (from stable to table) betrachtet wird, ausgesprochen komplex und von vielen Faktoren beeinflusst. Selbst wenn steigende Temperaturen bei einem Erreger einen gewissen Einfluss haben sollten, ist es wegen der Vielzahl der einflussnehmenden Faktoren äusserst schwierig, dies wissenschaftlich sauber zu ermitteln (EBP 2013b). Die Gefahr von durch Lebensmittel übertragenen Infektionskrankheiten spielt vorwiegend in privaten Haushalten mit mangelhaftem Wissen über den sachgerechten Umgang bei hohen Umgebungstemperaturen eine Rolle (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Salmonellenfälle könnten mit Hilfe der Methodik in Kovats et al. (2004b) mit dem Anstieg der Mitteltemperatur in Verbindung gebracht werden (Relation zu durchschnittlicher 2-Monats-Temperatur). Demnach nehmen die Salmonellenfälle um ca. 50% pro 5°C Erwärmung der Mitteltemperatur zu. Gemäss Experten scheinen die Resultate jedoch tendenziell überschätzt zu sein. Das Individualverhalten sowie die Wirksamkeit der Hygienesysteme in der Lebensmittelproduktion dürfte hier eine entscheidende Rolle spielen. Die Anzahl Salmonellenfälle zum heutigen Zeitpunkt ist für quantitative Analysen jedoch nicht genau bekannt.

Das Autorenteam schätzt die Infektionskrankheiten durch Nahrungsmittel insgesamt als mögliches klimabedingtes Risiko ein, obschon die Auswirkungen unsicher sind.

Vektorübertragene Infektionskrankheiten:

In Anlehnung an die Fallstudie Aargau (EBP 2013b) werden vektorübertragene Krankheiten aufgrund der zunehmenden Mobilität häufiger vorkommen, insbesondere durch die exponierte Lage als wichtiger Güterumschlagsplatz des Dreiländer-Ecks und durch den vorhandenen EuroAirport Basel-Mulhouse-Freiburg. Der Einfluss des Klimawandels ist jedoch bis ins Jahr 2060 gering, dürfte sich aber bis zum Ende des 21. Jahrhundert zunehmend negativ bemerkbar machen. Viel wichtiger ist in dem Zusammenhang vorerst die Zunahme des Personenverkehrs und der Güterströme. Im Weiteren können sich Erreger und Vektoren von Tierkrankheiten, die bisher nicht den Menschen befallen haben, derart verändern, dass sie auf den Menschen übertragen (Zoonose) werden (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

Infektionskrankheiten durch Stechmücken:

Gemäss BAG (2007) ist die wichtigste durch Stechmücken (Anopheles-Arten) übertragene Erkrankung die Malaria. Modellrechnungen deuten darauf hin, dass sich die Übertragungsgefahr von Malaria bei einem Temperaturanstieg von wenigen Grad Celsius – wie er gegen Ende des 21. Jahrhunderts erwartet wird - sowohl in tropischen Regionen als auch gemässigten Zonen erhöhen könnte. Zudem ist bei einer Erwärmung in Mitteleuropa eine Ausbreitung der Sandfliegen zu erwarten, welche die Infektionskrankheit Leishmaniose übertragen (BAG 2007), sowie eine Zunahme der Tigermücke. Künftig ist daher eine Ansteckung mit dem Dengue-Virus (Dengue-Fieber) und anderen Arboviren (beispielsweise West-Nil, Gelbfieber-, Sindbis- und Chikungunya-Viren) möglich (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

Neue allergene Pflanzen:

Durch die Verlängerung der Vegetationsperiode wird auch die Pollensaison verlängert. Die Verlängerung wird spürbare Auswirkungen für die Allergiker haben. Veränderte klimatische Bedingungen können zur Ausbreitung von hochallergenen Pflanzen, wie Ambrosia und anderen mediterranen Arten, führen und eine Zunahme von allergischen Beschwerden bewirken (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Gerade in Bezug auf neue allergene Pflanzen erscheinen die Risiken schwer abschätzbar. Die Kosten könnten unter gewissen Umständen durchaus relevante Grössenordnungen annehmen. Zum heutigen Zeitpunkt kann jedoch keine solide quantitative Abschätzung vorgenommen werden.

Laut Experten des Swiss TPH kann zum heutigen Zeitpunkt kein quantitativer Nachweis zwischen der Verlängerung der Pollensaison und der Anzahl Allergiker festgestellt werden. In der vorliegenden Studie sind daher hitzebedingte Pollenbelastungen bereits qualitativ unter Hitzeereignissen erwähnt.

Ausbreitung der Zeckenvorkommen:

Mildere Winter und höhere Temperaturen im Sommer begünstigen die Überlebenschancen der Zecken. Die erwartete Klimaänderung wird sich auf die Verbreitung der Zecken und die von ihnen übertragenen Krankheiten auswirken. Es zeichnet sich eine Ausdehnung in höhere Breitengrade und Höhenlagen ab, im Gegenzug dazu könnten sie in tieferen Lagen und in südlichen Breitengraden wegen hoher Temperaturen und geringer Luftfeuchtigkeit eher zurückgehen (BAG 2007). Wie sich die Verbreitung der Zecken effektiv entwickeln wird und inwiefern dies

auch für den Kanton Basel-Stadt mit nur kleinen Grüngeländen zutreffend ist, bleibt schwer abschätzbar (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Heute besteht ein erhöhtes Zeckenrisiko insbesondere in Teilen von Basel-Landschaft. Die Zecken können sich auch durch die zunehmende Mobilität weiter ausbreiten (vektorübergreifende Erreger, siehe oben).

Die Summe aller qualitativ beschriebenen Auswirkungen der steigenden Mitteltemperatur kann im Vergleich zu allen quantifizierbaren Gefahren und Effekte im Wirkungsbereich Gesundheit als geringer eingestuft werden (Einschätzung durch das Autorenteam). Gemäss Methodenbericht (EBP/WSL/SLF 2013a) können daraus Kosten von rund 88 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario schwach* und 195 Mio. bei einem *Klimaszenario stark* abgeleitet werden. Die Unsicherheiten sind aber insgesamt gross. Ein kontinuierliches Monitoring der qualitativen Auswirkungen ist daher zu empfehlen.

5.2.2. Synthese Wirkungsbereich Gesundheit

Kosten und Erträge heute und um 2060 aller relevanten Gefahren und Effekten

Im Wirkungsbereich Gesundheit wurden für die Klimarisikostudie Fallstudie Kanton Basel-Stadt lediglich die verminderte Arbeitsleistungsfähigkeit sowie die erhöhte Sterberate infolge Hitzeereignissen quantitativ abgeschätzt. Die Hitzeereignisse stellen denn auch die grösste klimabedingte Gefahr bis zum Jahr 2060 dar. Bereits heute werden mittlere jährliche Aufwendungen von 111 Mio. CHF erwartet. Die quantitativ abgeleiteten Mehrkosten im Wirkungsbereich Gesundheit werden bis 2060 aufgrund der vorgenommenen Berechnungen weiter zunehmen und auf rund 268 Mio. CHF bei eintreffendem *Klimaszenario schwach* und auf rund 585 Mio. CHF unter Berücksichtigung des *Klimaszenarios stark* abgeschätzt (jährliche Mittelwerte). Die Unsicherheiten sind insgesamt gross (Unschärfefaktor 3).

Zieht man zur quantitativen Abschätzung die zusätzlichen qualitativen Aspekte infolge Hitzeereignissen und den weiteren Gefahren und Effekte Hochwasser, Kältewellen und steigende Mitteltemperatur hinzu, so kommen nochmals jährliche mittlere gesundheitsbedingte Aufwendungen von rund 27 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario schwach* und 59 Mio. CHF bei einem *Klimaszenario stark* hinzu, wobei Hochwasser den Effekt und die Bilanz zusätzlich verstärken könnte. Die heutigen Kosten der qualitativ eingeschätzten Ereignisse belaufen sich auf rund 11 Mio. CHF. Die Unsicherheiten sind, analog den quantitativen Abschätzungen, gross (Unschärfefaktor 3).

Die für ein 100-jährliches Hitzeereignis²⁰ abgeleiteten Kosten sind jedoch bis 2060 weitaus grösser. Bereits heute werden für das 100-jährliche Ereignis gesundheitsbedingte Mehrkosten von 860 Mio. CHF erwartet, welche bis 2060 auf 2.2 Mia. CHF (*Klimaszenario schwach*) oder gar 4.8 Mia. CHF (*Klimaszenario stark*) ansteigen könnten. Auch hier sind die Unsicherheiten entsprechend gross (Unschärfefaktor 3), wodurch die Zahlen leicht überschätzt werden können.

Die gefundenen Resultate decken sich von der Grössenordnung mit jenen der Fallstudie Aargau, wo im Auswirkungsbereich Gesundheit ebenfalls die grössten Kosten infolge Hitzewellen eruiert wurden (EBP/SLF/WSL 2013b). Die Kosten für ein 100-jährliches Ereignis wurden für den Kanton Aargau auf zwischen 1 Mia. CHF (*Klimaszenario schwach*) und rund 3.8 Mia. CHF (*Klimaszenario stark*) abgeschätzt.

Die höheren gesundheitsrelevanten Kosten lassen sich hauptsächlich durch den städtischen Wärmeinseleffekt und der damit verbundenen höheren Mortalitätsrate erklären. Wäre dieser nicht vorhanden, wären die zu erwartenden Mehraufwendungen wohl deutlich geringer. In der Fallstudie Uri zum Beispiel (INFRAS/Egli Engineering 2015b), wo kein städtischer Wärmeinsel-Effekt berücksichtigt wurde, fielen die Kosten um einiges geringer aus.

Die Ergebnisse stehen zudem im Einklang mit dem Klimafolgenbericht von Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Die relevanten klimabedingten Auswirkungen wurden ebenfalls vorwiegend in der warmen Jahreszeit infolge Hitzeereignisse und der verminderten Luftqualität festgestellt. Ob der Handlungsbedarf im Zusammenhang von Hitzewellen jedoch nur von zweiter Priorität ist, sollte kritisch hinterfragt werden.

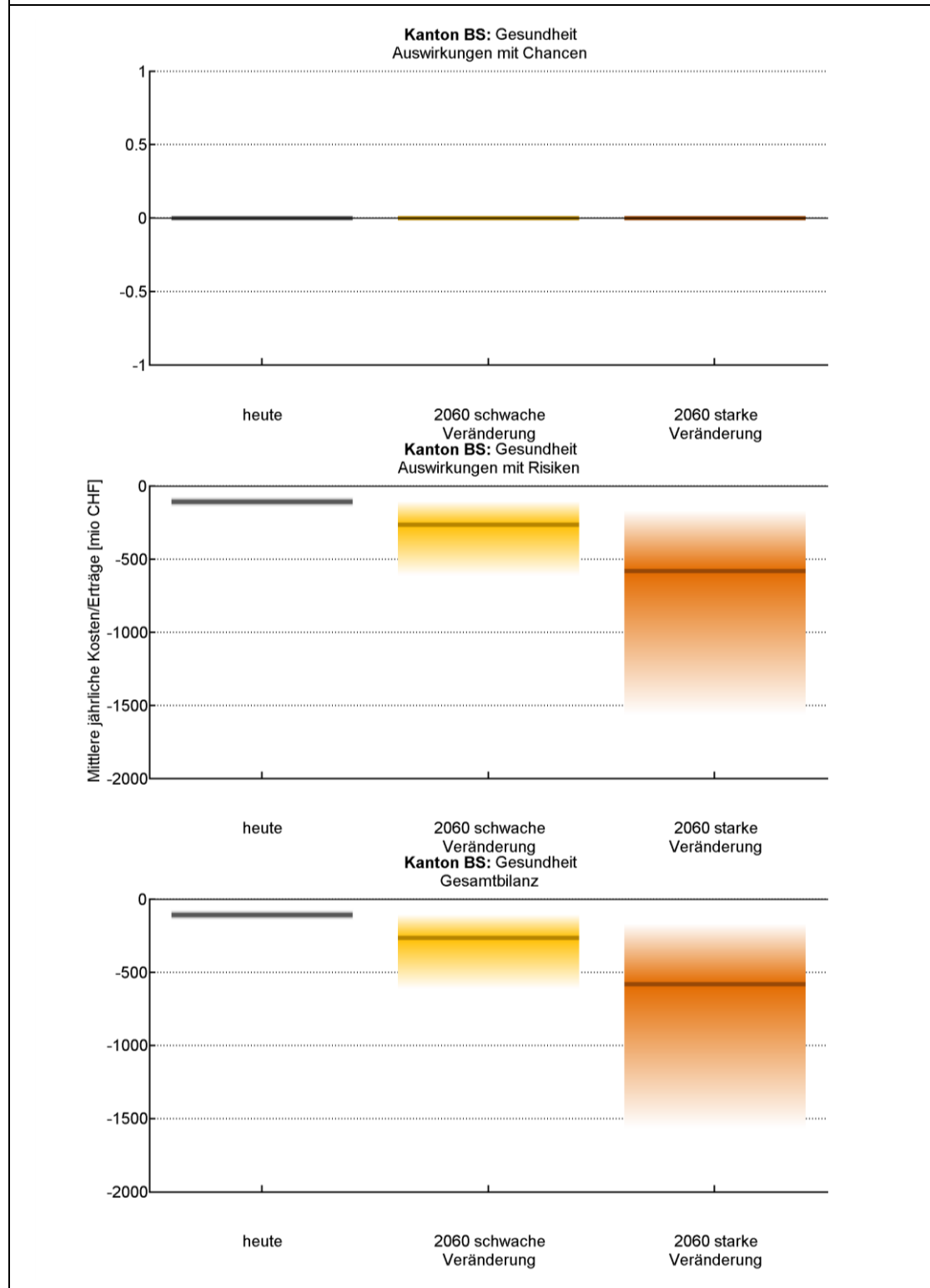
Werden die Erkenntnisse der Fallstudie Basel-Stadt mit den Einschätzungen der Anpassungsstrategie des Bundes verglichen (BAFU 2012), decken sich die Resultate grösstenteils. Die Auswirkungen der klimabedingten Veränderungen von vektorübertragenen Infektionskrankheiten wurde in der Fallstudie Basel-Stadt im Gegensatz zur Anpassungsstrategie des Bundes bis 2060 als gering eingeschätzt. Bis 2060 ist nicht der Klimawandel der Treiber dieser Veränderung sondern die Zunahme der Güterströme und der Mobilität. Die Auswirkungen von Hitze und Ozon werden auch in der Anpassungsstrategie des Bundes als relevant eingestuft.

Das Autorenteam empfiehlt den langfristigen Handlungsbedarf in Bezug auf Hitze und Ozon kritisch zu hinterfragen, um eine Unterschätzung zu vermeiden. Mit noch zielgerichteten Massnahmen könnten die Risiken deutlich reduziert werden. Kurzfristig ist es empfehlenswert die möglichen Folgen der Ausbreitung neuer Stechmückenarten möglichst einzudämmen, um grössere Folgekosten zu verhindern.

²⁰ Unter einem 100-jährlichen Hitzeereignis wird in der Fallstudie der Hitzesommer 2003 für den Zeitpunkt heute angenommen und für den Zeitraum 2060 entsprechend mit dem Klimaänderungssignal skaliert.

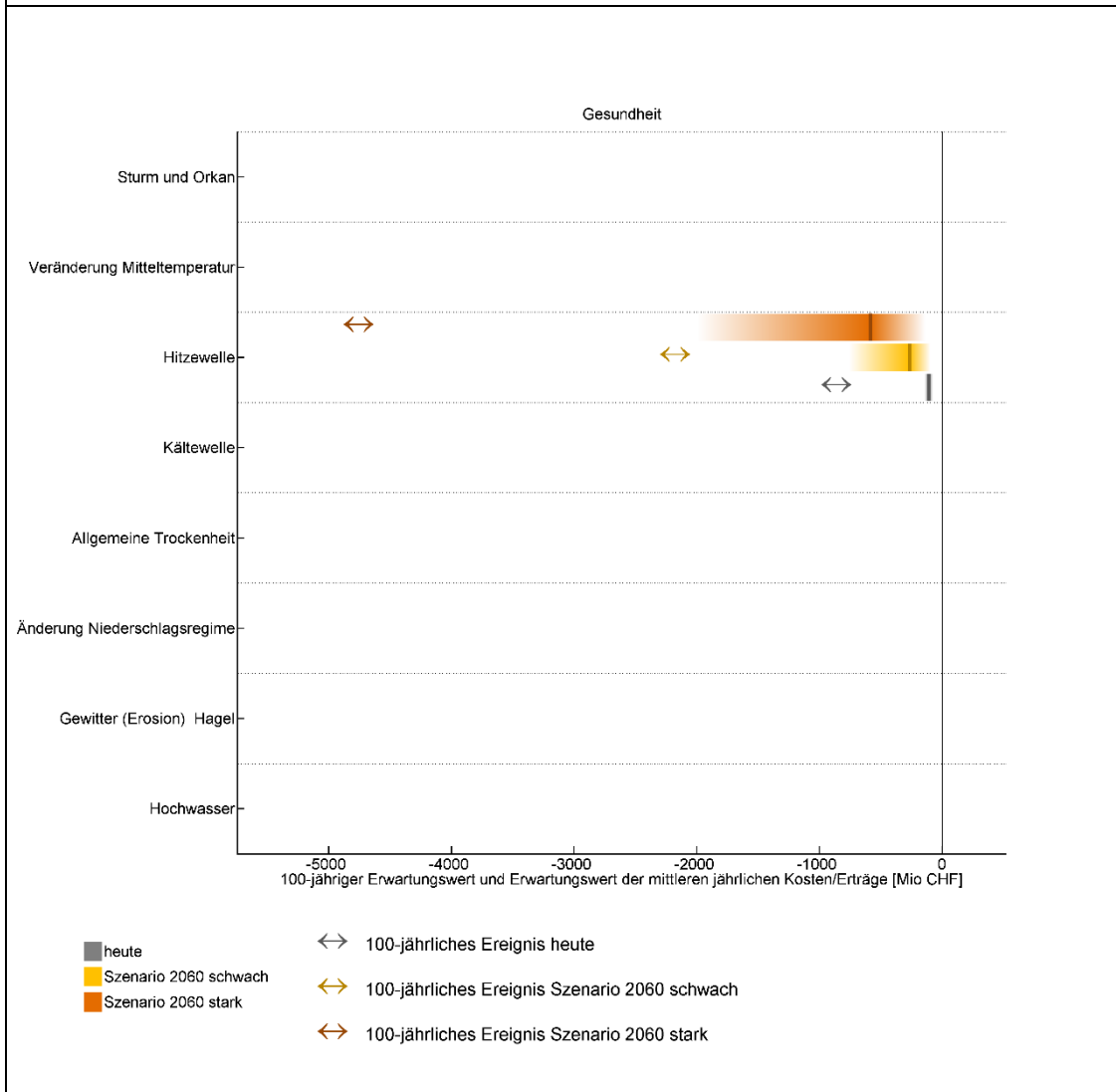
Die sozioökonomischen Veränderungen bis 2060 werden im Vergleich zu den klimabedingten Veränderungen vom Autorenteam als vergleichbar negativ beurteilt. Die Unsicherheiten der zukünftigen sozioökonomischen Entwicklung sind gross.

Abbildung 27: Gesamtbilanz aller quantitativen Auswirkungen im AWB Gesundheit um 2060



Klimabedingte Veränderungen um 2060. Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

Abbildung 28: Mittlere zu erwartende Kosten im AWB Gesundheit um 2060



Klimabedingte Veränderungen um 2060. Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

Gesamtbilanz aller Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Gesundheit in Bezug auf die zwei Klimaszenarien *schwach* und *stark*

- **Chancen (positive Auswirkungen):** Zusammenfassend sind im Auswirkungsbereich Gesundheit positive Auswirkungen aufgrund des zu erwartenden Rückgangs von Kälteereignissen zu erwarten. Es wird eine mittlere Abnahme der Kosten (qualitative Schätzung) in der Höhe von rund 90'000–200'000 CHF (Mittelwerte *Klimaszenario schwach und stark*) erwartet.

- **Risiken (negative Auswirkungen):** Negative Auswirkungen sind infolge einer zunehmenden Anzahl Hitzetage oder gar „sehr heisser Tage“ zu erwarten. Hierbei werden insbesondere die Reduktion der Arbeitsleistung und die hitzebedingten Mortalitätsraten berücksichtigt. Die dadurch zusätzlich zu erwarteten mittleren jährlichen Kosten belaufen sich auf rund 157-447 Mio. CHF (Mittelwerte *Klimaszenario schwach und stark*). Dies entspricht einer Zunahme von rund 135% bis 430%.
- **Gesamtbilanz (alle Auswirkungen):** Da die zusätzlich zu erwartenden quantifizierten mittleren jährlichen Kosten die qualitativ abgeschätzten positiven Auswirkungen übertreffen werden, sind die Auswirkungen der klimabedingten Änderungen insgesamt negativ zu beurteilen. Gesamthaft ist mit einer Zunahme der rein quantifizierten Kosten von 156 Mio. CHF bei eintreffendem *Klimaszenario schwach* und mit 474 Mio. CHF beim *Klimaszenario stark* zu rechnen.

Betrachtet man die quantifizierten und qualitativ abgeschätzten Kosten als Ganzes, so kommen bis 2060 Mehrkosten von rund 170-520 Mio. CHF hinzu (Mittelwerte *Klimaszenario schwach und stark*). Die Summe aller qualitativ analysierten Auswirkungen und Aspekte (Hochwasser, Hitzeereignisse, Kälteereignisse, durch vektorübertragene Krankheiten) ist im Vergleich zu den quantitativ analysierten Auswirkungen im Auswirkungsbereich Gesundheit als leicht negativ einzustufen.

Die Kosten für das 100-jährliche Ereignis fallen deutlich höher aus.

5.2.3. Sozioökonomisches Szenario Gesundheit heute bis 2060

Anzahl Einwohner Kanton Basel-Stadt insgesamt

Die Entwicklung der Bevölkerung des Kantons Basel-Stadt ist nicht nur für den Auswirkungsbereich Gesundheit eine wichtige Grösse und wird daher bereits im allgemeinen Teil des sozioökonomischen Szenarios des Kantons Basel-Stadt erläutert. Demnach wächst die Bevölkerung im Mittel bis 2035 um rund 4% von 189'000 auf 198'000 Personen und dürfte anschliessend weiterhin leicht zunehmen und sich ab dem Jahr 2055 stabilisieren (Bevölkerungsszenario mittel gemäss BFS 2010a). Der Kanton Basel-Stadt wächst somit bis 2060 geringer als die Gesamtschweiz. Seit 2003 hat der Kanton einen Wachstumsschub von 3.8% erfahren (Statistisches Amt Kanton Basel-Stadt 2014). Dieser Wert liegt deutlich unter der gesamtschweizerischen Wachstumsrate der letzten 15 Jahre von +11.4% (EBP/SLF/WSL 2013c).

Die Unsicherheiten können insgesamt als Mittel eingestuft werden.

Anzahl älterer Einwohner Kanton Basel-Stadt

Gemäss den gesamtschweizerischen sozioökonomischen Szenario (EBP/SLF/WSL 2013c) verändert sich die Altersstruktur im Zeitraum 2010 – 2060 stark. Der Anteil der Personen ab 65 Jahren steigt gemäss mittlerem Szenario A-00-2010 von 17.1% auf 26.0%. Während es 2010 noch 1.3 Mio. Personen ab 65 Jahren in der Schweiz gab, sind es 2035 bereits 2.3 Mio. (+71%) (BFS 2010b). Die Zahl der Personen ab 80 Jahren dürfte noch stärker zunehmen, von 0.38 Mio. im Jahr 2010 (5% der Gesamtbevölkerung) auf 1.1 Mio. im Jahr 2060 (12% der Gesamtbevölkerung) (aus EBP/SLF/WSL 2013c).

Die Entwicklung der Anzahl älterer Einwohner über 65 Jahre von Basel-Stadt ist im Vergleich zu den gesamtschweizerischen Szenarien unterdurchschnittlich. In Basel-Stadt ist bis 2035 eine Zunahme der älteren Bevölkerung von 23% zu erwarten (BFS 2010b). Der Anteil der älteren Bevölkerung nimmt dabei von 20.6% im Jahr 2010 auf 24.3% im Jahr 2035 zu. Bis 2060 kann davon ausgegangen werden, dass die Zahl älterer Personen weiter zunehmen, der Anstieg ab 2050 gemäss den gesamtschweizerischen Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung (BFS 2010a) aber deutlich abflachen wird.

Die Unsicherheiten können insgesamt als Mittel eingestuft werden.

Anzahl pflegebedürftiger Menschen Kanton Basel-Stadt

Aufgrund des Alterns geburtenstarker Nachkriegsjahrgänge wird die Zahl und der Anteil der älteren Menschen in der Schweiz (über 65-jährige) in den nächsten Jahrzehnten deutlich ansteigen (EBP/SLF/WSL 2013c). Besonders schnell werden die Zahl und der Anteil der über 80-jährigen zunehmen. Daher ist mit einer steigenden Zahl pflegebedürftiger alter Menschen zu rechnen. Nach EBP/SLF/WSL (2013c) erhöht sich die Zahl über 64-jährigen pflegebedürftiger Menschen 2010-2030 um 46% von 125'000 auf 182'000 Personen (vgl. Höpflinger et al. 2011; Höpflinger & Hugentobler 2003), wenn die Dauer von Pflegebedürftigkeit trotz steigender Lebenserwartung konstant bleibt. Analog der Fallstudie zum Kanton Aargau (EBP/SLF/WSL 2013d) wird geschätzt, dass sich die Zahl zwischen 2030-2060 etwa um 50% auf 290'00 Personen erhöhen wird. Spezifische regionalisierte Zahlen liegen nicht vor.

Die Unsicherheiten können insgesamt als Mittel eingestuft werden.

Anzahl Menschen mit Herz-Kreislauf-Krankheiten Kanton Basel-Stadt

Die koronare Herzkrankheit (chronische Erkrankung der Herzkranzgefässe) ist derzeit die häufigste, der Hirnschlag die dritthäufigste Todesursache in der Schweiz (aus EBP/SLF/WSL 2013d). Menschen aus unteren sozialen Schichten sterben häufiger an diesen Krankheiten als Menschen aus oberen sozialen Schichten. Altersstandartisiert sind im Jahr 2004 insgesamt 131 Personen pro 100'000 Einwohner an einem akuten Herzinfarkt (als eine Folge koronarer Herz-

krankheit) gestorben (EBP/SLF/WSL 2013d). Aufgrund der demographischen Alterung ist mit einer Zunahme an Herz-Kreislauf-Krankheiten zu rechnen, auch wenn beide Raten seit den 1990er Jahren rückläufig sind (Meyer et al. 2008). Gemäss der nicht-öffentlichen Arbeitsdokumentation zur Methodik der Klimarisikofallstudien der Schweiz (EBP/SLF/WSL 2013c) steigt die Mortalität der beiden genannten Krankheiten bis 2060 um 10%. Regionalisierte Zahlen zum Kanton Basel-Stadt liegen nicht vor. Neben Herz- und Kreislauferkrankungen sind auch Lungenkrankheiten wie COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), Bronchialkarziom (Lungenkrebs) oder Asthma bronchialis relevante Erkrankungen deren Häufigkeiten sich im Zusammenhang mit klimabedingten Effekten verändern könnten.

Die Unsicherheiten hierzu können insgesamt als Mittel eingestuft werden.

Angebot ambulanter medizinischer Leistungen Kanton Basel-Stadt

Aufgrund der Alterung der Gesellschaft und den damit steigenden Ansprüchen an die ambulante medizinische Versorgung sowie den Entwicklungstrend zu mehr Teilzeit arbeitenden Ärzten und weniger Allgemeinmediziner*innen ist zu erwarten, dass bis 2030 ein Defizit beim Angebot an ambulanten medizinischen Leistungen besteht (Seematter-Bagnoud et al. 2008). Gemäss EBP/SLF/WSL (2013c) wird davon ausgegangen, dass dieses Defizit auch 2060 noch bestehen wird.

In Basel besteht bereits heute ein Mangel an Ärzten, welcher sich in den nächsten Jahren bereits deutlich verschärfen könnte (Schweiz am Sonntag 2012). Die Problematik dürfte daher bis 2060 tendenziell noch zunehmen. Zusätzlich ist jedoch anzufügen, dass sich die Versorgungslage und Inanspruchnahme medizinischer Leistungen durch die Bevölkerung kantonsübergreifend auswirkt. Gemäss dem Gesundheitsdepartement Basel-Stadt existiert für den stationären Bereich bereits heute ein Projekt für einen gemeinsamen Versorgungsraum NWCH. Die Versorgungsplanung wird damit zunehmend auf regionaler Ebene stattfinden, wodurch sich die Problematik einer möglichen Unterversorgung zukünftig durchaus auch entschärfen könnte.

Die Unsicherheiten werden insgesamt als gross eingestuft.

Einordnung der sozioökonomischen Szenarien im Vergleich zu den quantifizierten Gefahren und Effekten

Bei denen im Abschnitt 5.2.1 aufgeführten Betrachtungen wurde stets die Annahme getroffen, dass die Altersstruktur und die Bevölkerungszahlen gleich bleiben. In Wirklichkeit werden sich diese Grössen, wie oben beschrieben, verändern und zum Teil zu stärkeren Änderungen führen, als diese durch den Klimawandel zu erwarten sind.

Verschiedene Grössen, die zur Quantifizierung benutzt werden, passen sich im Laufe der Jahre im Zuge der sozioökonomischen Veränderungen an. So basieren zum Beispiel die Berechnungen zur geringeren Leistungsfähigkeit infolge von Hitzetagen auf der Bruttowertschöpfung, welche sich bis ins Jahre 2060 ebenfalls ändern wird und mit ihr die geschätzten Kosten. Weiter wird die Vulnerabilität der hitzebedingten Mortalität aufgrund des Bevölkerungswachstums in urbanen und sub-urbanen Gebieten (insbesondere auch der älteren Generationen) in naher Zukunft wahrscheinlich noch zunehmen, was in den quantitativen Abschätzungen nicht berücksichtigt wird.

Insgesamt dürften die sozioökonomischen Veränderungen in Bezug auf die zu erwartenden Kosten bis ins Jahr 2060 daher insgesamt mit den klimabedingten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit vergleichbar sein (siehe auch Methodikbericht zum Umgang mit qualitativer Information in EBP/SLF/WSL 2013a). Als Folge davon müsste bis 2060 mit zusätzlichen Kosten zwischen rund 266 Mio. CHF bis 582 Mio. CHF gerechnet werden, was zusammen mit den klimabedingten Veränderungen zu mittleren jährlichen Kosten von rund 532 Mio. CHF (*Klimaszenario schwach*) bis 1164 Mio. CHF (*Klimaszenario stark*) führen könnte.

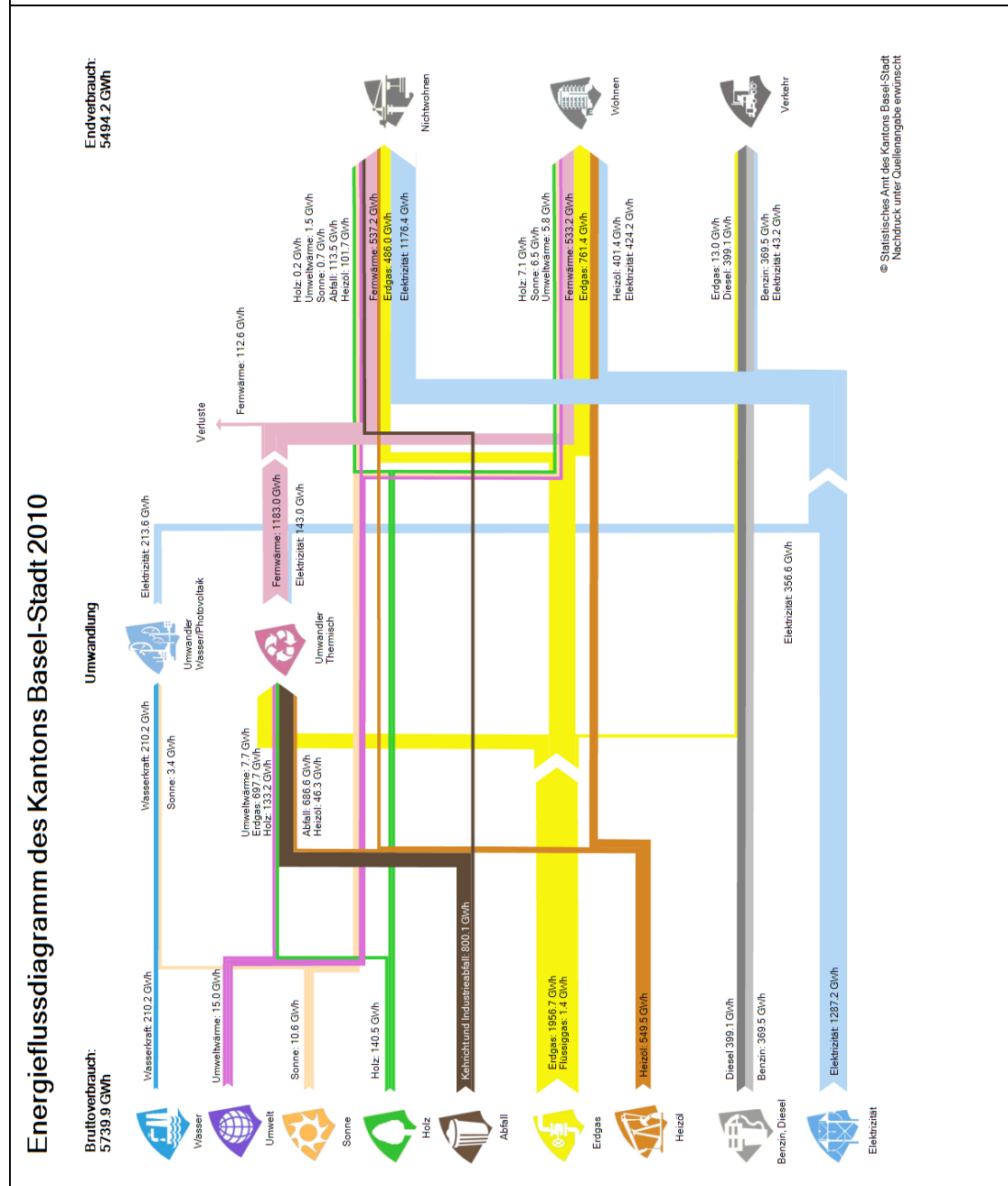
5.3. Auswirkungsbereich Energie (Erzeugung und Verbrauch)

Energie heute und Bezug zum Klimawandel

Der Kanton Basel-Stadt ist eine Pilotregion der 2000-Watt Gesellschaft und hat dieses Ziel als Leitmotiv seit 2008 im Politikplan, respektive Legislaturplan verankert (BS 2013). Die Ziele bestehen darin, den Energieverbrauch und den Anteil der fossilen Energieträger zu reduzieren und die Bereitstellung erneuerbarer Energien zu steigern. Vorgesehen ist eine Reduktion des Primärenergiebedarfs auf 2000 Watt pro Kopf mit einem Anteil an fossilen Energieträgern von höchstens 25%. Momentan sind unterschiedliche Projekte in der Umsetzung, die in den Bereichen Mobilität, erneuerbare Energien und Gebäudesanierung den Einsatz neuer Technologien fördern sollen²¹. Das Pilotprojekt besteht seit rund 10 Jahren. Eine kantonale Studie untersuchte den heutigen Energieverbrauch des Kantons sowie die Potenziale zur energetischen Optimierung anhand verschiedener Szenarien (BS 2011). Die vorliegende Studie baut primär auf den Ergebnissen dieser Studie sowie der Energiestatistik 2010 auf. Da sich die vorliegende Studie jedoch auf einen anderen Zeithorizont bezieht, mussten die Daten entsprechend extrapoliert werden.

²¹ <http://www.2000-watt.bs.ch> (9.1.2015)

Abbildung 29: Energiestatistik des Kantons Basel-Stadt



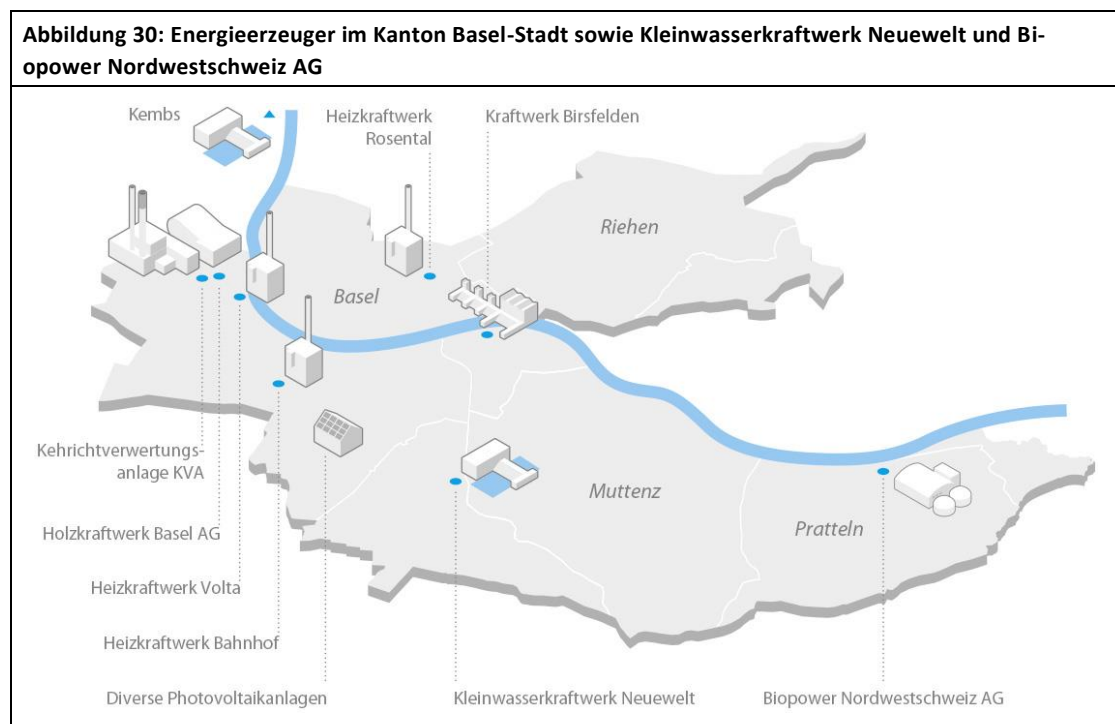
Quelle: BS 2014.

Energieproduktion (Strom und Wärme)

Klimabedingte Auswirkungen sind im Untersuchungsgebiet vor allem im Bereich der Stromproduktion zu erwarten. Die möglichen klimabedingten Veränderungen im Bereich der Wärmebereitstellung sind vergleichsweise gering. Daher wird im Folgenden hauptsächlich auf die heutige Situation der Stromproduktion auf dem Kantonsgebiet eingegangen.

Im Kanton Basel-Stadt sind die Industriellen Werke Basel (IWB) für die leitungsgebundene Versorgung von Elektrizität, Erdgas und Fernwärme zuständig. Dies ist im Gesetz über die Industriellen Werke Basel (IWB-Gesetz) vom Februar 2009 geregelt.

Die nachfolgende Karte zeigt die wichtigsten Strom- und Wärmeerzeuger im Kanton Basel-Stadt.



Quelle: www.iwb.ch (14.7.2014)

Gemäss Herr Rummer von den IWB (per Mail am 9.7.2014) wurden 2013 im Kanton Basel-Stadt folgende Strommengen produziert (gerundet):

- Wasserkraft: Kraftwerk Birsfelden: 283 GWh (50% der Gesamtproduktion des Kraftwerks)
- Kehrlicht: KVA Basel: 45 GWh
- Holz: Holzkraftwerk Basel: 16 GWh
- Erdgas:

- Heizkraftwerk Volta: 74 GWh
- Heizkraftwerk Rosental: 9 GWh
- Diverse Blockheizkraftwerke (nicht IWB): 28 GWh
- Photovoltaik: Diverse Anlagen: 8 GWh

Die Energie des Kraftwerks Birsfelden wird unter den Partner IWB (50%), EBM Elektra Birseck (30%) und EBL Elektra Baselland (20%) aufgeteilt. Total wurden 2013 im Kanton Basel-Stadt 463 GWh Strom produziert. Dies entspricht einem Drittel des Stromverbrauchs im Kanton Basel-Stadt.

Der grösste Teil der im Kanton Basel-Stadt verbrauchten Strommenge wird von ausserhalb des Kantons zugeführt (Hauptlieferant ist die KWO). Die oben abgebildeten Kraftwerke Neuwelt und Biopower Nordwestschweiz AG befinden sich beide ausserhalb des Kantons Basel-Stadt. Daneben gibt es noch weitere Anlagen ausserhalb der Kantons Grenzen, die den Kanton Basel-Stadt mit Strom beliefern (z.B. VGL). Diese liegen aber ausserhalb der Systemgrenzen dieser Fallstudie. Obwohl diese Quellen zum Teil auch durch das Klima beeinflusst werden, werden diese klimabedingten Auswirkungen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht, da sie wie erwähnt ausserhalb der Systemgrenzen liegen.

Die Energiebereitstellung aus den Energieträgern Kehrlicht und Erdgas werden nicht direkt durch das Klima beeinflusst und werden deshalb nicht weiter vertieft. Holzwachstumsänderung in der Nordwestschweiz aufgrund des Klimawandels wird nicht berücksichtigt, weil der Einfluss auf die Energiebereitstellung mittels Holzheizkraftwerk als vernachlässigbar eingestuft wird. Der Bereich Photovoltaik wird nicht im Detail betrachtet, da die klimabedingten Auswirkungen kaum abschätzbar sind.

In der vorliegenden Studie wird demnach primär die Wasserkraft untersucht. Diese ist direkt vom Abflussregime des Rheins abhängig und wird somit entsprechend durch den Klimawandel beeinflusst.

Sowohl das Rhein- wie auch das Grundwasser wird zu Kühl- und Heizzwecken genutzt. Die klimatischen Einflüsse auf diese Energiequellen und -senken werden qualitativ untersucht (Ep-ting et al. 2013).

Energieverbrauch

Klimabedingte Auswirkungen auf den Energieverbrauch sind hauptsächlich durch die Veränderung in der Anzahl der jährlichen Heizgradtage und Kühlgradtage zu erwarten. Dementsprechend ist mit einer Veränderung des Kühl- und Heizenergieverbrauchs zu rechnen. Im Bereich

Heizenergie sind vor allem Haushalte betroffen, da dort der Heizenergieverbrauch vom Gang der Umgebungstemperatur abhängt und zudem einen grossen Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmacht. Veränderungen sind aber auch im Gebäudebereich bei Industrie sowie Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben zu erwarten. Der Kühlenergieverbrauch ist zum heutigen Zeitpunkt bei Industrie, Dienstleistungs- und Gewerbebetrieben tendenziell höher als bei Haushalten. Somit ist durch die Veränderung der Kühlgradtage vor allem in diesem Sektor eine Veränderung zu erwarten. Eine Änderung der Komfortansprüche im Zuge vermehrter Hitzewellen könnte aber auch den Kühlenergiebedarf der Haushalte stark ansteigen lassen.

5.3.1. Analyse der Gefahren und Effekte 2060

Innerhalb der Systemgrenzen des Kantons Basel-Stadt wurden verschiedene Gefahren und Effekte als relevant identifiziert. Im Bereich des Energieverbrauchs sind vor allem durch die erwartete Abnahme der Kältewellen sowie durch die Zunahme der Hitzewellen Veränderungen zu erwarten. Die Auswirkungen des erhöhten Kühlenergiebedarfs sowie des reduzierten Heizenergieverbrauchs werden quantitativ analysiert.

Das Abflussregime des Rheins hat den grössten Einfluss auf die Stromproduktion des Wasserkraftwerks Birsfelden, deshalb wird dies quantitativ untersucht. Eine untergeordnete Bedeutung auf die Stromproduktion haben Hochwasser. Hitzewellen haben einen negativen Einfluss auf die energetische Nutzung des Rheinwassers zu Kühlzwecken.

Tabelle 8: Überblick der analysierten Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Energie		
Gefahr/Effekt	Quantitativ analysierte Auswirkungen	Qualitativ analysierte Auswirkungen
Hochwasser	Beeinflussung der Wasserkraftproduktion durch Hochwasser	
Änderung Niederschlagsregime		Produktionsveränderungen der Wasserkraft aufgrund veränderter Abflussregimes
Kältewelle	Abnehmender Heizenergiebedarf	
Hitzewelle	Erhöhter Energiebedarf für Klimatisierung	Mögliche Strombedarfsspitze für Kühlung im Sommer, Kühlung mittels Rheinwasser wird beeinträchtigt oder gar verunmöglichlicht
Veränderung Mitteltemperatur		Erhöhter Energiebedarf für Kühlung, Abnahme des Heizenergiebedarfs. Beeinträchtigung der Kühlung mittels Grundwasser und Flusswasser

a) Energie: Hochwasser

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Die Auswirkung von Hochwasser auf die Energieproduktion des Wasserkraftwerkes Birsfelden ist vernachlässigbar. Gemäss Aussagen von Sascha Jäger, Direktor des Kraftwerks Birsfelden AG, sind Hochwasser für den Kraftwerksbetrieb nicht kritisch (Workshop 2014). Durch das Öffnen von vier der fünf Wehrfelder (eins ist immer noch als Reserve verfügbar) können im Hochwasserfall bis zu $5'500 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser neben den Turbinen vorbei über die offenen Wehrfelder durchgeleitet werden. So können Schäden am Wasserkraftwerk (Turbinen) vermieden werden. Gemäss Bundesamt für Umwelt erreicht der Rhein am Messpunkt Rheinhalle bei einem 100-jährlichen Hochwasser $4'634 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei einem Hochwasser kann die Stromproduktion reduziert auf ca. 70% der normalen Leistung, durch das Öffnen der Wehrfelder aufrechterhalten werden. Die Produktionseinbussen beschränken sich somit auf wenige Tage pro Jahr und werden vernachlässigt. Hochwasser führen jedoch zu Ablagerungen im Gerinne, welche anschliessend durch die Kraftwerksbetreiber beseitigt werden müssen.

Die Kosten für die Entfernung dieser Ablagerungen beim Hochwasser im Juni 2013 beziffern die Kraftwerksbetreiber auf rund 50'000 CHF. Das Hochwasser 2013 wird als 20-jährliches Hochwasser in der Statistik geführt. Da auch im Normalbetrieb laufend Sediment abgelagert wird, müssen diese Ablagerungen im Rahmen des ordentlichen Kraftwerksunterhalts regelmässig beseitigt werden (ca. 1x pro Jahr).

Quantifizierbare Auswirkungen

Aufgrund der oben beschriebenen Situation schätzt das Autorenteam für ein 100-jährliches Hochwasser die zusätzlichen Kosten auf rund 200'000 CHF für Baggerungen und Entsorgung von Sedimentablagerungen. Für durchschnittliche, jährliche Hochwasser können keine genauen Kosten ausgewiesen werden. Die Kosten dürften sich in erster Näherung ähnlich wie die Intensität der Hochwasser verändern und bleiben unter der für diese Analyse definierten relevanten Kostenschwelle von 0.5 Mio. CHF. Deshalb werden diese Kosten nicht weiter betrachtet.

b) Energie: Änderung im Niederschlagsregime

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Die Änderung des Niederschlagsregimes beeinflusst den Abfluss des Rheins und somit die Stromproduktion durch Wasserkraft. Gemäss Görgen et al. 2010 dürfte der jährliche Abfluss des Rheins in der betrachteten Periode ähnlich wie heute bleiben. Im Sommer ist gegenüber heute eher mit einer Abnahme, im Winter mit einer Zunahme des Abflusses zu rechnen. Diese Veränderungen sind jedoch um ein Vielfaches kleiner als die natürlichen jährlichen Schwankungen.

Quantifizierbare Auswirkungen

Es ist zu erwarten, dass die jährliche Stromproduktion des Kraftwerks Birsfelden im Jahr 2060 in denselben Grössenordnungen liegen dürfte wie heute. Gemäss der Studie von Görgen et al. 2010 wird der Jahresabfluss etwa auf demselben Niveau bleiben. Folglich ist keine Änderung der jährlichen Stromproduktion aufgrund des Klimawandels zu erwarten. Die natürlichen jährlichen Schwankungen sind im Vergleich zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels deutlich grösser. Die Stromproduktion ausserhalb des Kantonsgebiets liegt ausserhalb der Systemgrenzen und wird daher nicht betrachtet.

c) Energie: Kältewelle

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Durch die erwartete Veränderung der Häufigkeit und Intensität von Kältewellen ist mit einer Reduktion des Heizenergieverbrauchs zu rechnen. Von einer Unterscheidung zwischen der Auswirkung während Kältewellen und der Auswirkung über das gesamte Jahr wird aufgrund von mangelnder Datenverfügbarkeit abgesehen. Daher wird an dieser Stelle die Reduktion des Heizenergiebedarfs über das ganze Jahr hinweg betrachtet und nicht nur die Reduktion während den Kälteperioden.

In der Energiestatistik des Kantons Basel-Stadt des Jahres 2010/2012 (BS 2014) ist einerseits der Endenergieverbrauch des Sektors Industrie (= Industrie, Gewerbe und Dienstleistung) und andererseits derjenige des Sektors Haushalte aufgeführt. Um aufgrund dieser Angaben den Heizenergiebedarf abzuschätzen, müssen verschiedene Annahmen getroffen werden.

Vorbehalte und Annahmen

Die Berechnung der klimabedingten Veränderung des Heizenergieverbrauchs erfolgt unter der Annahme, dass sich der Heizenergieverbrauch proportional zur Anzahl Heizgradtage verhält. Da

allfällige Anpassungsmassnahmen im Rahmen dieser Risikoanalyse nicht in die Quantifizierung des Energieverbrauchs einfließen, bleiben die Anteile der verschiedenen Energieträger konstant. Zudem erfolgt die Berechnung unter der Annahme eines konstanten Energiepreises, da diese Veränderung zu den sozioökonomischen Entwicklungen zählt und daher in einem separaten Kapitel untersucht wird.

Weil in der Energiestatistik nur die Endenergieverbräuche nach Energieträger und Nutzer differenziert sind, müssen die dort aufgeführten Mengen einem Verwendungszweck zugeordnet werden. D.h. für jeden Energieträger und Nutzer muss der Anteil, der für die Raumwärme genutzt wird, abgeschätzt werden.

Heizenergieanteil Haushalte:

Der Anteil des Wärmeverbrauchs im Haushaltsbereich für die Bereitstellung von Warmwasser wird auf 20% geschätzt. Entsprechend fallen 80% des Wärmeverbrauchs auf die Raumheizung (BS 2011). Diese Annahme geht von einem durchschnittlichen Raumwärmebedarf aus, der aus dem Verbrauch pro Energiebezugsfläche der Neu- und Altbauten geschätzt wird. Gemäss Analyse des Schweizerischen Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken, liegt der Anteil des Wärmeverbrauchs im Haushaltsbereich für die Bereitstellung von Warmwasser in einer ähnlichen Grössenordnung (ca. 15%) (Prognos/Infras/TEP 2013). Beim Warmwasserverbrauch werden die Unterschiede zwischen Alt- und Neubauten aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Warmwasserverbrauch infolge des Klimawandels nicht verändert.

Für die Wärmeverbräuche gemäss Energiestatistik wird daher im Bereich Haushalte ein Anteil von 20% für die Warmwasserbereitstellung abgezogen. Die restlichen 80% am Wärmeverbrauch im Bereich Haushalte gemäss kantonaler Energiestatistik werden für Raumwärme verwendet. Ausnahme bildet dabei die Energiebereitstellung mit Sonnenkollektoren. Da Sonnenkollektoren hauptsächlich zur Bereitstellung von Warmwasser eingesetzt werden, ist dort von einem deutlich geringeren Anteil an Raumwärme auszugehen. Das Autorenteam schätzt den Anteil auf 10%. Ein gewisser Anteil des Elektrizitätsverbrauchs wird ebenfalls der Bereitstellung von Raumwärme zugeordnet. Alle Heizsysteme haben einen Hilfsenergieanteil, der auf 1% geschätzt wird (Prognos/Infras/TEP 2013). Bei Wärmepumpen wird zusätzlich noch ein Stromverbrauch in der Höhe von einem Drittel des entsprechenden Heizenergieverbrauchs dazugerechnet. Es wird zudem angenommen, dass die genutzte Umweltwärme zu 90% für die Raumheizung eingesetzt wird.

Heizenergieanteil Industrie, Gewerbe, Dienstleistung:

Aus den verfügbaren Daten zum gesamten Wärmeverbrauch muss auch hier der Raumwärmeanteil abgeschätzt werden. Im Gegensatz zu den Privathaushalten ist bei Industrie, Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben neben der für die Bereitstellung von Warmwasser aufgewendeten Wärme auch die Prozesswärme zu berücksichtigen. Entsprechend ist der Anteil der Raumwärme geringer.

Für die Ermittlung des Anteils Raumwärme am Gesamtwärmeverbrauch wird auf Literaturwerte zurückgegriffen (BS 2011, Kirchner & Matthes et al. 2009). Aus den verfügbaren Datengrundlagen zu den Energieverbräuchen nach Verwendungszwecken ergibt sich ein Raumwärmeanteil von etwa 68% bei Dienstleistungs- und Gewerbebetrieben. Ein deutlich geringerer Anteil liegt bei Industrieanlagen (ca. 13%), da dort die Prozesswärme einen grossen Teil des Energieverbrauchs ausmacht. Von der Heizenergie wird ein Anteil von 10% für die Bereitstellung von Warmwasser abgezogen (Prognos/Infras/TEP 2013).

Anhand der verfügbaren Daten zum totalen Heizenergieverbrauch (Raumwärme + Warmwasser) je Energieträger pro Fläche kann der Anteil der Raumwärme ermittelt werden. Dies ergibt für den Sektor Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen einen Raumwärmeanteil von durchschnittlich 35%. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die geschätzten Anteile der Raumwärme am gesamten Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Nutzern. Der Hilfsenergieverbrauch in Form von Strom wird hier ebenfalls bei allen Heizsystemen berücksichtigt (1% des jeweiligen Heizenergieverbrauchs für Raumwärme).

Abbildung 31: Endenergieverbrauch und Anteil Raumwärme				
		Energieverbrauch [GWh]	Anteil Raumwärme	Heizenergieverbrauch (Raumwärme) [GWh]
Industrie, Gewerbe, Handel Dienstleistungen	Umweltwärme	1.5	90%	1
	Fernwärme	537.2	35%	188
	Sonne	1	10%	0
	Holz	0	35%	0
	Abfall	113.5	35%	40
	Erdgas	486	35%	170
	Heizöl	101.7	35%	36
	Elektrizität	1'176	0.4%	5
	Total			438
Privathaushalte	Umweltwärme	5.8	90%	5
	Sonne	6.5	10%	1
	Holz	7.1	80%	6
	Fernwärme	533.2	80%	427
	Erdgas	761.4	80%	609
	Heizöl	401.4	80%	321
	Elektrizität	424.2	4%	15
	Total			1384

Der Heizenergieverbrauch wird über den Energieverbrauch und einen entsprechenden Anteil berechnet (Quelle: Energiestatistik BS). Der Anteil des Heizenergieverbrauchs am Total des Endenergieverbrauchs beruht auf einer Schätzung (siehe Erläuterungen im Text).

Annahmen zu den Energiepreisen:

Der Energiepreis von Erdgas, Holz und Fernwärme sowie der Energiepreis der Elektrizität wurden den Angaben der IWB entnommen^{22,23}. Für Heizöl wird der durchschnittliche Energiepreis des Jahres 2013 verwendet²⁴. Für die restlichen Heizsysteme (Sonnenkollektoren, Wärmepumpen und KVA/Abwasser) werden Literaturwerte eingesetzt (BS 2011). Da dort nur geringe klimabedingte Veränderungen zu erwarten sind (oder nicht abgeschätzt werden können) und die entsprechenden Energieträger vergleichsweise von untergeordneter Bedeutung sind, wurden diesbezüglich keine ausführlicheren Literaturrecherchen durchgeführt. Nach einer Gewichtung der Energiepreise mit dem jeweiligen Heizenergieverbrauch ergibt sich für das Jahr 2010 ein durchschnittlicher Energiepreis von etwa 7 Rp./kWh.

Abbildung 32: Energiepreise						
Energiepreise in CHF/kWh	Heizöl	Gas	Fernwärme BS	Strom BS	Holz	
Jahr 2010		0.09	0.05	0.09	0.08	0.05
Datenquelle		HEV	BS 2011	BS 2011	BS 2011	IWB 2014
Wärmegestehungskosten in CHF/kWh	Sonnenkollektoren	Wärmepumpenanlagen	KVA und ARA			
Jahr 2010	0.24	0.17	0.09			
Datenquelle	BS 2011	BS 2011	BS 2011			

Datenquellen zu den verwendeten Energiepreisen sowie der Wärmegestehungskosten nach Energieträger (Abgaben und Nutzungstarife sind nicht inbegriffen).

Qualitative Auswirkungen

Durch die erwartete Abnahme der Kältewellen sind im Auswirkungsbereich Energie keine nicht-quantifizierbaren Auswirkungen auf den Energieverbrauch vorhersehbar.

Quantifizierbare Auswirkungen

Für den Sektor Haushalte ergibt sich unter den oben aufgeführten Annahmen ein jährlicher Raumwärmeverbrauch von etwa 1'384 GWh. Für die Industrie, Gewerbe- und Dienstleistungsbetriebe beträgt die Schätzung rund 438 GWh pro Jahr, was einen totalen Raumwärmeverbrauch von rund 1'821 GWh ergibt. Die Datengrundlage zu den Endenergieverbräuchen ist gut belastbar, die Unsicherheit wird auf etwa 1-2% geschätzt.

²² <http://www.iwb.ch/de/privatkunden/strom/stromtarife/> (15.1.2015)

²³ http://www.iwb.ch/de/privatkunden/kundenservice/tarife_preise/#2 (15.1.2015)

²⁴ <http://www.hev-schweiz.ch/vermieten-verwalten/heizoelpreise/monatsmittel-heizoelpreise/> (15.1.2015)

Schätzung der Unsicherheiten:

Im Schweizer Emissionsinventar wird beim Verbrauch flüssiger Brennstoffe von einer Unsicherheit von 1.3% und bei gasförmigen Brennstoffen von 2% ausgegangen (National Inventory Report NIR²⁵). Zudem gibt es für die heutige Situation eine Unsicherheit aufgrund der jährlichen Variation der Zahl der Heizgradtage. Diese wird aufgrund der Zeitreihe der jährlichen Heizgradtage auf etwa 7% geschätzt. Weiter ist die Abschätzung des Anteils der Raumwärme am Gesamtwärmeverbrauch mit Unsicherheit behaftet. Daher wird für die heutige Situation eine Unsicherheit von rund 15% geschätzt. Bei der Veränderung der Anzahl Heizgradtage nach den beiden Szenarien wird von einer eher geringen Unsicherheit im Bereich von etwa 20% ausgegangen. Aufgrund dieser Annahmen ergibt sich für die heutige Situation eine Unschärfeklasse von 1, für die beiden Szenarien 2060 gesamthaft ein Unschärfefaktor von 2.

Es wird für die Monetarisierung des Heizenergieverbrauchs ein konstanter durchschnittlicher Energiepreis von 0.07 CHF/kWh angenommen (Jahr 2010). Dies ergibt für die heutige Situation jährliche Kosten in der Höhe von etwa 131 Mio. CHF.

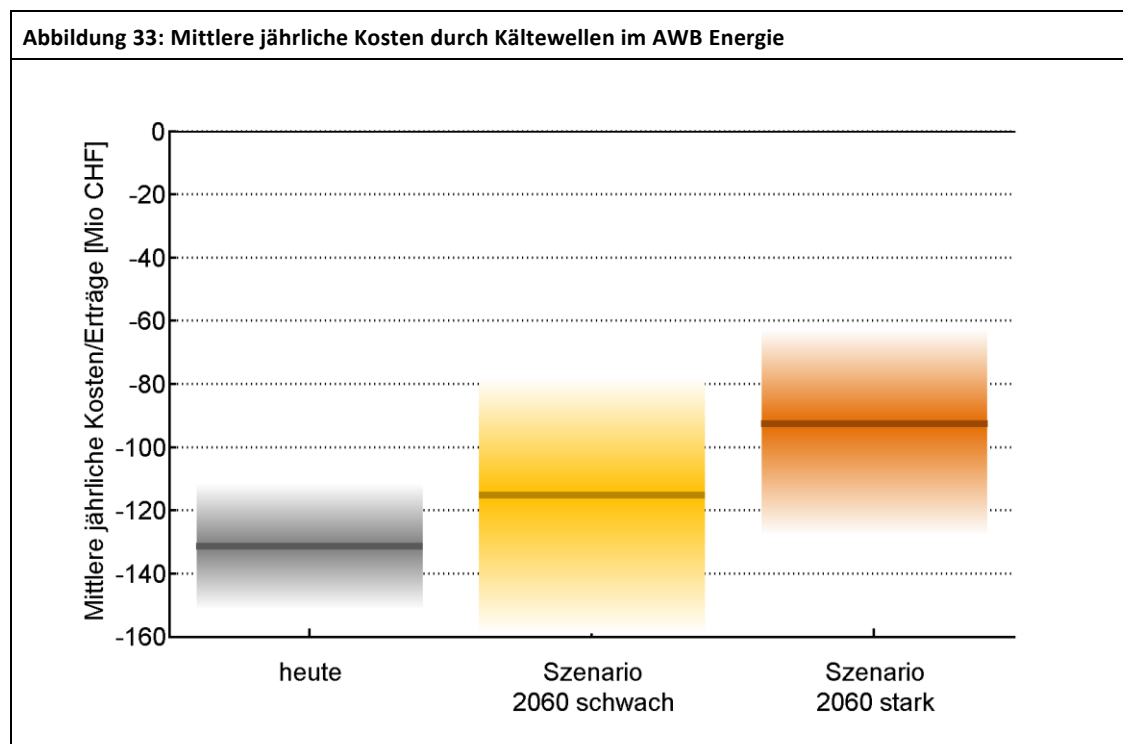
Die Szenarien zu den Heizgradtagen werden unter Berücksichtigung des Wärmeinseleffekts berechnet (INFRAS/Egli Engineering 2015a). Die Heizgradtage verändern sich somit unter Berücksichtigung des Wärmeinseleffekts im Szenario schwach um minus 341 und im Szenario stark um minus 814 Heizgradtage. Übertragen auf den Raumwärmebedarf wird beim schwachen Szenario davon ausgegangen, dass sich der heutige Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten für die Heizenergie bis 2060 um 12% reduzieren. Beim starken Szenario beträgt die Reduktion 30 % (siehe INFRAS/Egli Engineering 2015a). Dies bedeutet für die beiden Szenarien folgender Rückgang an mittleren jährlichen Heizkosten.

Tabelle 9: Kosten und Erträge um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	-131	1
Szenario schwach	-115	2
Szenario stark	-93	2

Kosten 2060 mit resultierenden Unschärfefaktoren durch Kältewellen im AWB Energie.

²⁵ <http://www.bafu.admin.ch/climate-reporting/00545/?lang=en> (15.1.2015)

Die folgende Abbildung zeigt die erwartete Abnahme der jährlichen Heizenergiekosten von heute 131 Mio. CHF auf 115 Mio. CHF unter dem schwachen, respektive 92 Mio. CHF unter dem starken Szenario.



Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

d) Energie: Hitzewellen (Hitzetage)

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Im Kanton Basel-Stadt nutzt die Industrie und das Spital Grund- und Rheinwasser zur Kühlung. Gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) darf die Temperatur eines Fliessgewässers durch Wärmeeintrag oder –entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 °C, verändert werden; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Bei Hitzewellen kann der Rhein Temperaturen über 25 °C erreichen, womit eine Nutzung des Rheinwassers zu Kühlwecken nicht mehr erlaubt ist. Diese Thematik wird qualitativ behandelt.

Energieverbrauch Gebäudekühlung:

Aufgrund des erwarteten Anstiegs der Anzahl Kühlgradtage ist auch mit einem steigenden Kühlenergieverbrauch im Gebäudebereich zu rechnen. In der Energiestatistik des Kantons Basel-Stadt wird der Kühlenergieverbrauch nicht erfasst. Da keine Datengrundlage zum Kühlenergieverbrauch verfügbar ist, nimmt das Autorenteam eine grobe Abschätzung vor. Für die Abschätzung des Kühlenergieverbrauchs müssen die Energiebezugsfläche (EBF), der gekühlte Flächenanteil (A_K) sowie der spezifische Kühlenergieverbrauch pro Flächeneinheit (K) bekannt sein. Der Kühlenergieverbrauch (E_K) ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$E_K = EBF * A_K * K$$

Der gekühlte Anteil der Energiebezugsfläche sowie der spezifische Kühlenergieverbrauch unterscheiden sich je nach Gebäude sehr stark. Diese Grössen sind abhängig von der Bauweise, der Nutzungsart und des Baujahrs des Gebäudes. Aufgrund dieser grossen Variabilität ist eine Abschätzung des Kühlenergieverbrauchs anhand von Durchschnittswerten sehr ungenau. Da jedoch keine genauen Daten verfügbar sind, kann im Rahmen dieser Studie nur eine grobe Abschätzung des Kühlenergieverbrauchs gemacht werden.

Datengrundlage Energiebezugsfläche:

Die Energiebezugsfläche nach Gebäudetyp ist in der Studie zur energetischen Optimierung des Kantons Basel-Stadt dokumentiert (BS 2011).

Abbildung 34: Energiebezugsflächen Basel-Stadt			
Gebäudenutzung		SRT [-]	EBF [ha]
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	176
-	Baublöcke Gründerzeit	IIa	287
-	Villen der Gründerzeit	IIc	1
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	226
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	33
-	Hochhäuser	VII	11
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	14
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	2
-	Einfamilienhäuser	IXa	173
-	Neubaugebiete ¹	N	(71) ¹
Gewerbe	Gewerbe	Xa	24
	Industrie	Xb	123
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	210
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	464
		Total	1 744

Energiebezugsfläche (EBF) der verschiedenen Stadtraumtypen (SRT) im Kanton Basel-Stadt. ¹Arealentwicklung bis 2035 nach dem Bau- und Verkehrsdepartement BS (in der Gesamtsumme nicht berücksichtigt, als Abschlag nicht beheizter Flächen wurden 15% angenommen) (BS 2011). Angenommen wird, dass der Zubau von GHD-Flächen aufgegebene Gewerbe- und Industrie- flächen kompensiert.

Datengrundlage Spezifischer Kühlenergieverbrauch:

Für die vorliegende Studie wird die Schätzung der Abteilung Energie des AUE (Ch. Mathys) von 15 kWh/m² verwendet.

Datengrundlage gekühlter Flächenanteil:

Die Studie von Brunner et al. enthält eine Datengrundlage zu den heute gekühlten Anteilen an Gebäudeflächen. Für Wohnbauten beträgt der ausgewiesene Anteil etwa 1%, für Dienstleistungsgebäude 10% und für die industrielle Produktion 14% (Brunner et al. 2007 Anhang S. 128). Im Kanton Basel-Stadt sind Bereits seit rund 10 Jahren sind im Dienstleistungsbereich praktisch sämtliche Neubauten mit einer Kühlung ausgestattet. Der gekühlte Anteil der Dienstleistungsgebäude liegt gemäss Angaben des AUE (Ch. Mathys) im Bereich von 20-40%.

Vorbehalte und Annahmen

Für die quantitative Analyse wird angenommen, dass der gesamte Kühlenergiebedarf mittels elektrischer Klimatisierung gedeckt wird und dass sich der Kühlenergieverbrauch proportional zu den Kühlgradtagen verändert.

Von einer Unterscheidung zwischen den Auswirkungen während Hitzewellen und den Auswirkungen über das gesamte Jahr wird aufgrund von mangelnder Datenverfügbarkeit abgesehen. Daher wird an dieser Stelle der Anstieg des Kühlenergiebedarfs über das ganze Jahr hinweg betrachtet und nicht nur der Anstieg während den Hitzeperioden.

Die Monetarisierung erfolgt unter der Annahme eines Strompreises von 8.15 Rp./kWh (ohne Netznutzung etc. gemäss IWB²⁶).

Qualitative Auswirkungen

Die Auswirkungen im Bereich der Nutzung des Rheinwassers zu Kühlzwecken werden nur qualitativ untersucht. Wie eingangs beschrieben, darf gemäss Gewässerschutzverordnung (1998) ab Rheinwassertemperaturen von 25°C kein Rheinwasser zu Kühlzwecken genutzt werden. Diese Limite wurde in heissen Sommern der letzten Jahre bereits mehrfach überschritten.

Die chemische Industrie und das Spital nutzen das Rheinwasser für Prozess- und Raumkühlung²⁷. Aufgrund des Klimawandels muss davon ausgegangen werden, dass der Rhein in Zukunft häufiger eine Temperatur von über 25 °C erreicht. Damit ist die Einleitung und Entnahme von Kühlwasser gemäss der Eidgenössischen Gewässerschutzverordnung (GSchV) nicht mehr erlaubt. Da zum heutigen Zeitpunkt noch beträchtliche Wissenslücken bestehen, können die erwarteten Auswirkungen noch nicht abschliessend beurteilt werden.

Das BAFU untersucht momentan in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen die Problemlage im Rahmen des Projekts Gewässertemperatur und Klimawandel. Dabei wird die Problemlage im Hinblick auf die relevanten ökologischen Ansprüche, die Relevanz der Einleitungen, den aktuellen Vollzug und die Schwierigkeiten der nationalen und internationalen Gesetzgebung aufgezeigt. Darauf aufbauend werden dann in einem nächsten Schritt Handlungsoptionen erarbeitet.

Die Problematik der Kühlwasserentnahme aus dem Rhein während Hitzeperioden illustriert einen Zielkonflikt zwischen den Zielsetzungen des Bundesrechts, des Kantons, der Gewässerökologie und den wirtschaftlichen Interessen der betroffenen Industrie, für welchen gemeinsam Lösungen erarbeitet werden müssen.

Quantifizierbare Auswirkungen

Quantitativ analysiert wird der Energieverbrauch im Bereich der Klimatisierung. Unter den oben erwähnten Annahmen sowie der Berücksichtigung der verfügbaren Datenquellen beträgt der heutige Endenergieverbrauch für die Gebäudekühlung rund 36 GWh/a. Über den Energie-

²⁶ <http://www.iwb.ch/de/privatkunden/strom/stromtarife/> (15.1.2015)

²⁷ Frau Schwager, Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt, per Mail am 26.8.2014.

preis ergeben sich für die heutige Situation mittlere jährliche Kosten von etwa 2.9 Mio. CHF. Da im Bereich des spezifischen Kühlenergieverbrauchs und bei dem gekühlten Gebäudeflächenanteil grosse Unsicherheiten bestehen, wird die Unschärfe als hoch eingestuft. Weil in der Literatur auch deutlich höhere spezifische Kühlenergieverbräuche ausgewiesen werden (Ecofys 2011), ist davon auszugehen, dass der Kühlenergieverbrauch auch deutlich höher sein könnte. Entsprechend wird eine Unsicherheit von 100% berücksichtigt. Bei der Veränderung der Anzahl Kühlgradtage nach den beiden Szenarien wird von einer eher geringen Unsicherheit im Bereich von etwa 20% ausgegangen. Aufgrund dieser Annahmen ergibt sich bereits für die heutige Situation gesamthaft ein Unschärfefaktor von 3.

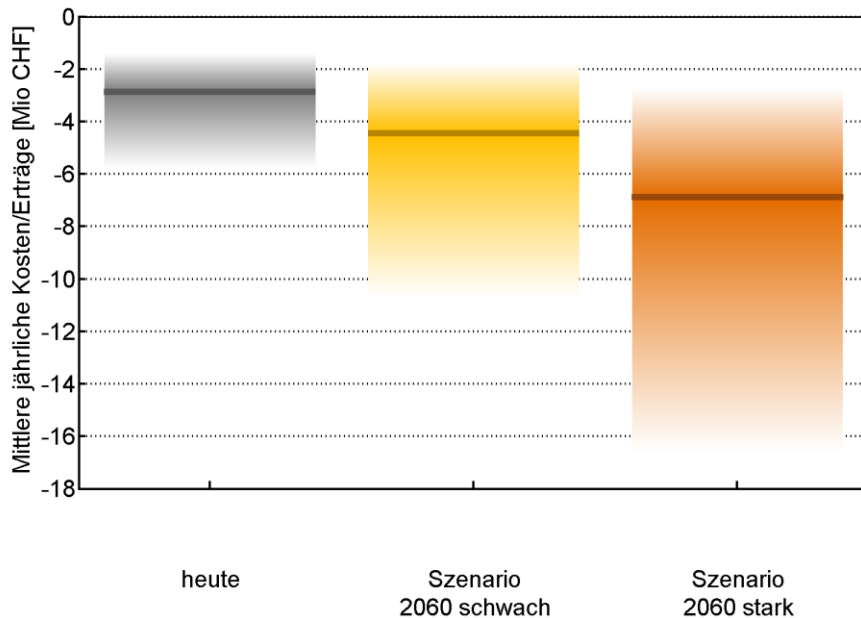
Die Szenarien zu den Kühlgradtagen werden unter Berücksichtigung des Wärmeinseleffekts berechnet (INFRAS/Egli Engineering 2015a). Beim schwachen Szenario wird davon ausgegangen, dass sich der heutige Kühlenergieverbrauch und die damit verbundenen Kosten um 55% erhöhen. Beim starken Szenario beträgt die Zunahme 140%. Unter der Annahme einer proportionalen Zunahme des Kühlenergieverbrauchs ergeben sich für die beiden Szenarien folgende mittleren jährlichen Kosten.

Tabelle 10: Kosten und Erträge um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	-2.9	3
Szenario schwach	-4.5	3
Szenario stark	-6.9	3

Kosten 2060 mit resultierenden Unschärfefaktoren durch Hitzewellen im AWB Energie.

Die folgende Abbildung zeigt die mittleren jährlichen Kosten für die heutige Situation sowie für die beiden Szenarien. Es ist von einer Zunahme der Kosten von heute 2.9 Mio. CHF auf 4.5 Mio. CHF unter dem schwachen Szenario respektive 6.9 Mio. CHF unter dem starken Szenario auszugehen.

Abbildung 35: Mittlere jährliche Kosten durch Hitzewellen im AWB Energie



Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

e) Energie: Veränderung Mitteltemperatur

Durch die erwartete Veränderung der Mitteltemperatur sind eine Reduktion des Heizenergiebedarfs sowie eine Erhöhung des Kühlenergiebedarfs zu erwarten. Um die beiden Effekte getrennt zu untersuchen, werden sie in den Kapiteln „Energie Kältewelle“ und „Energie Hitzewelle“ behandelt. Der Effekt der Veränderung der Mitteltemperatur auf den Energieverbrauch ergibt sich somit aus der Summe der Veränderung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs und kann somit aus den Analysen der vorangehenden Kapitel abgeleitet werden.

Aufgrund des Klimawandels wird ausserdem die Grundwassertemperatur ansteigen. In der Schweiz weist die Grundwassertemperatur ohne anthropogene Einflüsse normalerweise eine ähnliche Temperatur auf wie die durchschnittliche Lufttemperatur. Diese beträgt heute in Basel rund 10.5 °C und dürfte bis im Zeitraum um 2060 um 1.2 bis 2.9 °C ansteigen. Epting et al. (2013) halten fest, dass in Basel die Grundwassertemperaturen bis 17 °C betragen. Gemäss Epting und Huggerberger (2013) sind die Grundwassertemperaturen im Bereich der Stadt Basel durch anthropogene Einflüsse um rund 6 °C erhöht. Wenn aufgrund des Klimawandels die durchschnittliche Jahrestemperatur ansteigt, dürften Grundwassertemperaturen durch diesen natürlichen Einfluss zusätzlich um rund 1 bis 3 °C ansteigen. Die vermehrte Nutzung des

Grundwassers auch zu Heizzwecken mittels Wärmepumpen (wo auf Stadtgebiet möglich) wirkt diesem Trend entgegen und könnte die netto Wärmeflüsse ein Stück weit ausgleichen.

5.3.2. Synthese Auswirkungsbereich Energie

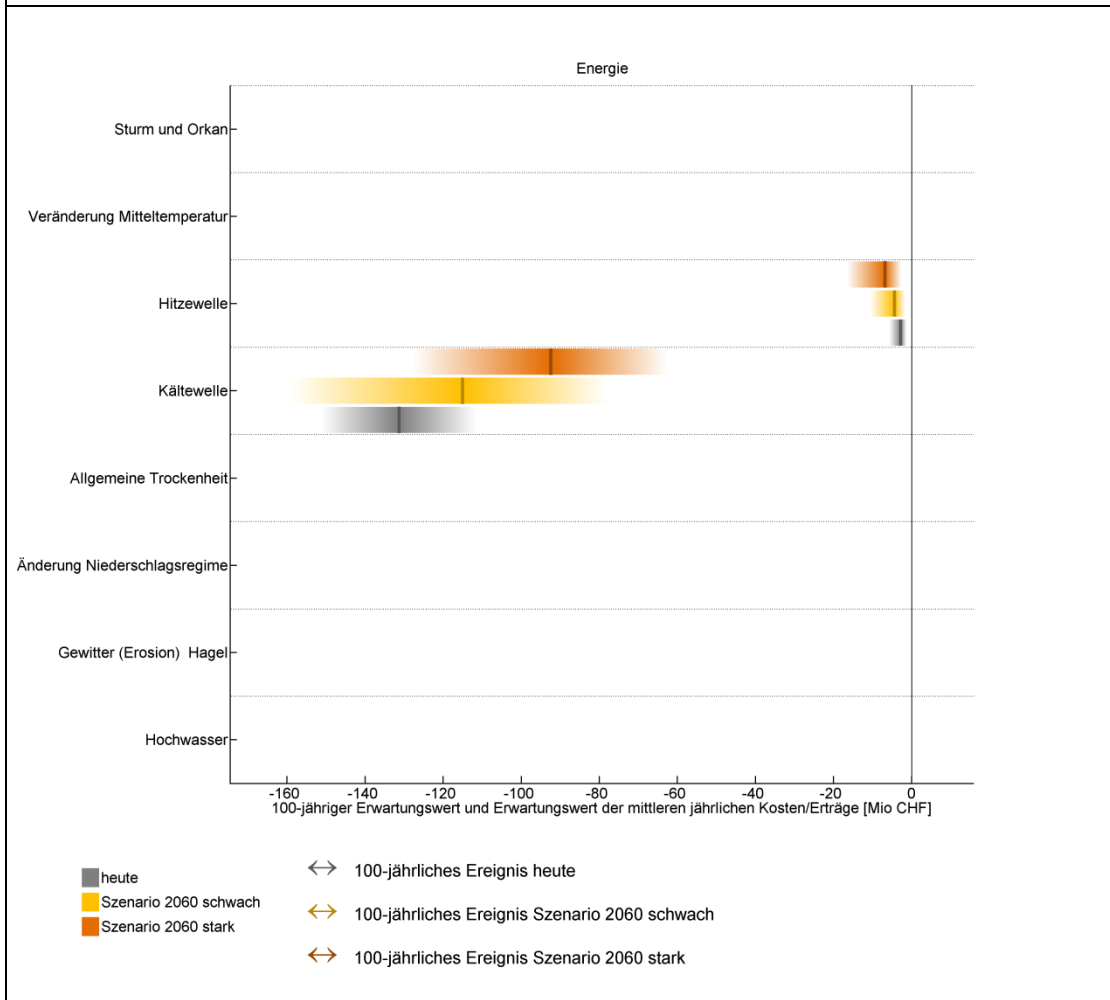
Kosten und Erträge heute und um 2060 aller relevanten Gefahren und Effekten

Im Bereich der Energieerzeugung werden keine relevanten Kosten quantifiziert. Jedoch zeichnen sich Nutzungskonflikte bei der Nutzung von Grund- und Rheinwasser durch die Industrie zu Kühlzwecken ab. Die Nutzung des Rheinwassers zu Kühlzwecken ist gemäss dem Gewässerschutzgesetz bei Gewässertemperaturen von 25 °C und mehr untersagt. Der Rhein hat diese Grenzwerte in den heissen Sommern der letzten Jahre bereits mehrfach überschritten. Damit während diesen Hitzeperioden die Kühlung aufrechterhalten werden kann, müssen neue Lösungen gefunden werden. Dabei gilt es die Interessen der Industrie und die ökologischen Ansprüche gleichermassen zu berücksichtigen. In Zusammenarbeit mit den Kantonen erarbeitet das BAFU zurzeit im Rahmen des Klimaaktionsplans eine Übersicht der Problemlage der erhöhten Gewässertemperaturen. In einem zweiten Schritt werden Handlungsoptionen aufgezeigt.

Zusätzlich wurden die Auswirkungen im Bereich des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs im Bereich der Klimatisierung untersucht. Diese Auswirkungen konnten quantitativ ausgewertet werden. Die untenstehende Abbildung zeigt, dass im Bereich des Heizenergieverbrauchs die grösste absolute Veränderung zu erwarten ist. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die erwarteten Einsparungen an Heizenergie nicht durch den „Rebound-Effekt“ kompensiert werden (z.B. erhöhte Raumtemperaturen). Der erhöhte Kühlenergieverbrauch hat nur geringfügige Auswirkungen auf die Gesamtbilanz, obwohl dort die grössten relativen Veränderungen zu sehen sind.

Die Studie des Kantons Basel-Stadt zu den Folgen des Klimawandels identifiziert vor allem im Bereich der Nutzung der Gewässer zur Kühlung während den Sommermonaten Handlungsbedarf (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Die vorliegende Studie quantifiziert zusätzlich die Chancen im Bereich des Heizenergieverbrauchs und zeigt somit, dass die gesamten Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Energie in der Bilanz deutlich positiv sind. Sie ist somit eine Ergänzung zur bereits bestehenden Grundlage.

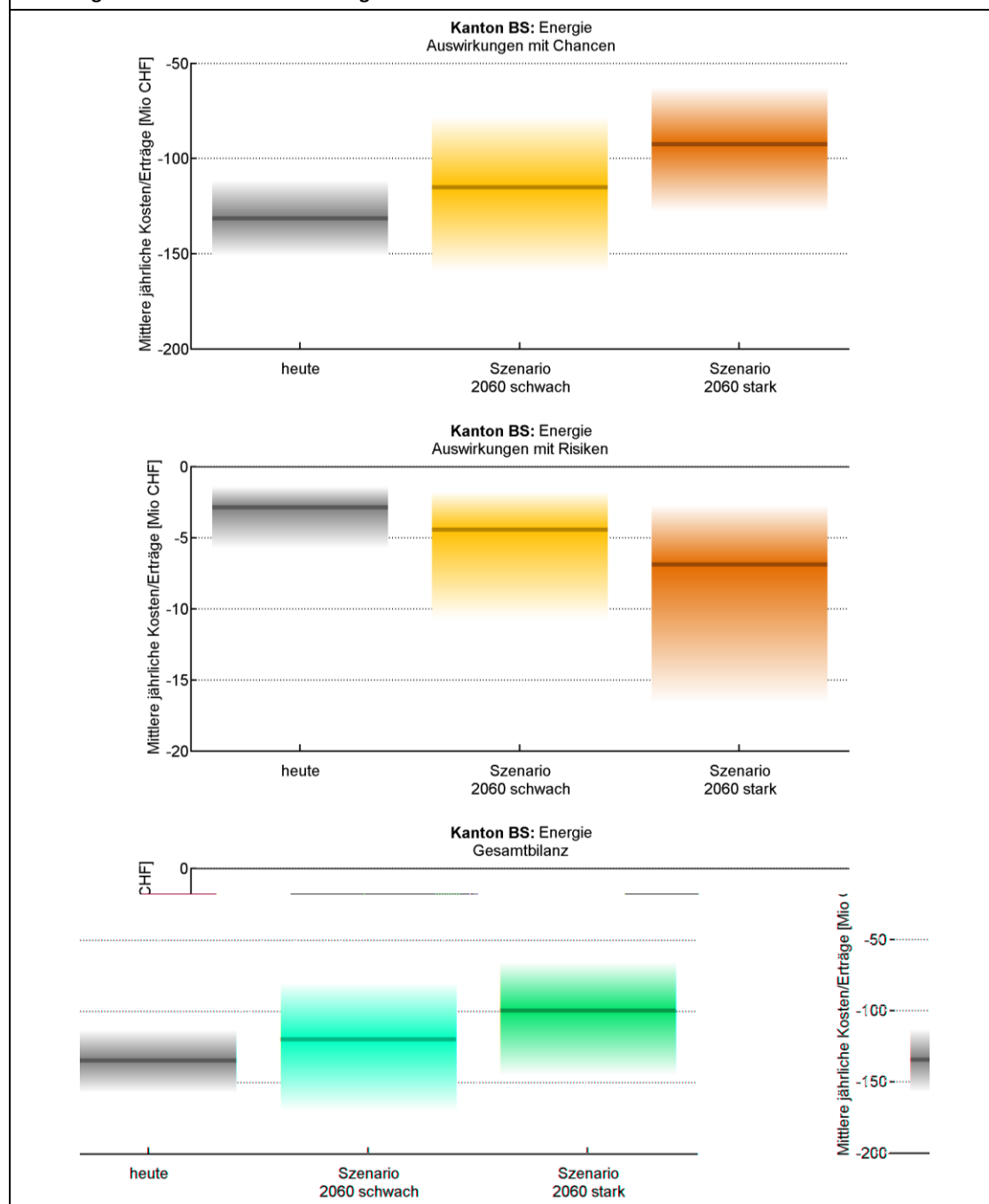
Abbildung 36: Mittlere zu erwartende Kosten und Erträge im AWB Energie um 2060



Klimabedingte Veränderungen um 2060. Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

Gesamtbilanz aller Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Energie

Abbildung 37: Gesamtbilanz AWB Energie um 2060



Klimabedingte Veränderungen um 2060. Die Zahlen sind absolute Werte und zeigen nicht die Veränderung.

- Chancen: Positive klimabedingte Auswirkungen sind vor allem beim Heizenergieverbrauch zu erwarten. Die erhöhte Mitteltemperatur und die an Intensität und Dauer abnehmender Kältewellen führen zu einer deutlichen Reduktion des Energiebedarfs für Gebäudeheizung und der Heizkosten von ca. 131 Mio. CHF auf rund 115 Mio. CHF im schwachen Szenario, respektive 93 Mio. CHF im starken Szenario.
- Risiken: Durch die zunehmenden Hitzewellen ist ein erhöhter Kühlenergieverbrauch zu erwarten. Es ist davon auszugehen, dass die durchschnittlichen jährlichen Kosten von etwa 2.9 Mio. CHF auf rund 4.5 Mio. CHF im schwachen Szenario, respektive 6.9 Mio. CHF im starken Szenario ansteigen werden. Da nur wenige Daten zum Kühlenergieverbrauch verfügbar sind, beruht diese Berechnung auf einer groben Abschätzung. Weitere negative Auswirkungen sind durch zunehmende, hochwasserbedingte Kosten für das Wasserkraftwerk Birsfelden zu erwarten. Diese Kosten sind jedoch in einer nicht relevanten Grössenordnung. Die qualitativ erfassten Risiken im Bereich der Nutzung von Rheinwasser zur Kühlung sind im Vergleich zu den quantitativ analysierten Risiken als deutlich grösser einzustufen.
- Gesamtbilanz: Da die Veränderung der Temperaturen im Bereich des Heizenergieverbrauchs absolut gesehen deutlich grössere Auswirkungen hat, sind die quantitativ analysierten Auswirkungen insgesamt deutlich positiv. Die jährlichen Kosten reduzieren sich von gut 134 Mio. CHF auf etwa 120 Mio. CHF im schwachen Szenario, respektive auf 99 Mio. CHF im starken Szenario. Die Auswirkungen im Bereich der jährlichen Hochwasserereignisse sind vergleichsweise gering. Die Veränderungen können dort aufgrund der Unsicherheiten in der erwarteten Veränderung des Abflussregimes nicht quantifiziert werden.

5.3.3. Sozioökonomisches Szenario Energie um 2060

Sowohl der Energieverbrauch als auch die Energieproduktion sind stark von verschiedenen sozioökonomischen Entwicklungen abhängig. Im Bereich der Photovoltaik wird von einem Potenzial von ca. 205 ha nutzbarer Dach- und Fassadenfläche ausgegangen, im Jahr 2012 erst etwa 5.6 ha genutzt wurden²⁸. Daher ist hier im Bereich der Energieproduktion das grösste Ausbaupotenzial vorhanden. Die Ergebnisse der kantonalen Studie zum erneuerbaren Strompotenzial zeigen, dass unter dem Referenzszenario der Gesamtertrag der Photovoltaikanlagen

²⁸ Angabe AUE 8.2.2015

bis im Jahr 2050 auf 78 GWh Endenergie ansteigen wird (BS 2011). Hingegen ist im Bereich Wasserkraft das Potenzial bereits ausgeschöpft.

Das erneuerbare Wärmepotential wird bei den Sonnenkollektoren sowohl absolut als auch relativ am grössten eingeschätzt. Ein gewisses Potenzial besteht hingegen auch bei der Nutzung der Abwasserwärme, der Erdwärme sowie in den Bereichen Biomasse und Biogas (BS 2011).

Der Ausbau und die Förderung der erneuerbaren Energien erfordern langfristig eine grundlegende Neuorganisation des Strommarktes, was mit entsprechenden Veränderungen des Strompreises verbunden sein wird. Daher werden die sozioökonomischen Auswirkungen im Bereich der Energieproduktion deutlich grösser eingeschätzt als die klimatisch bedingten Veränderungen.

In einem Referenzszenario unter der Annahme einer Fortsetzung des bestehenden Trends wird der Endenergiebedarf im Jahr 2050 auf etwa 5560 GWh geschätzt (BS 2011). Dies entspricht einer leichten Reduktion gegenüber 5902 GWh im Jahr 2010. Werden die Bestrebungen zur Senkung des Energieverbrauchs hingegen verstärkt, kann mit einer Reduktion auf knapp 4'000 GWh pro Jahr gerechnet werden (BS 2011). Die Unterschiede in diesen beiden Szenarien zeigen den grossen Einfluss der Annahmen zur technischen Entwicklung sowie den Annahmen zur Sanierungsrate und –tiefe des Gebäudebestandes. Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgt eine Abschätzung der Auswirkungen ohne Berücksichtigung allfälliger Anpassungsmassnahmen, daher wird vom Referenzszenario ausgegangen. Grosse Unsicherheiten bestehen jedoch in Bezug auf die erwartete Bevölkerungsentwicklung, welche einen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch der Privathaushalte hat (Kapitel 4.3). Aufgrund einer Extrapolation der bestehenden Szenarien für das Jahr 2035 sind je nach Szenario ein sinkender (Bevölkerungsabnahme) oder ein steigender Energieverbrauch der Haushalte zu erwarten (Bevölkerungszunahme). Zudem sind auch eine Zunahme der gekühlten Gebäudefläche und ein vermehrter Einsatz von Kühlgeräten zu erwarten.

Die Auswirkungen sind zudem auch beim Energieverbrauch stark von der Entwicklung der Energiepreise abhängig. Die sozioökonomischen Entwicklungen haben somit potentiell auch im Bereich des Energieverbrauchs einen sehr grossen Einfluss auf die erwartete Veränderung.

Der Trend im Bereich der Klimatisierung (vermehrter Einsatz von (Kleinst-)Klimaanlagen) könnte auch ohne Klimawandel zu einer steigenden Nachfrage für Kühlenergie führen. Die Auswirkungen des Klimawandels dürften diesen Trend weiter verstärken. Eine mögliche Regulierung auch der Kleinstkühlgeräte könnte dem entgegenwirken.

Da der Energieverbrauch durch die demographische Entwicklung, die Veränderung der Energiepreise sowie die Veränderung der Komfortansprüche im Bereich der Gebäudekühlung stark beeinflusst wird, werden sozioökonomisch bedingte Entwicklungen im Vergleich zu den klimabedingten Veränderungen als grösser eingestuft.

5.4. Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Infrastrukturen und Gebäude heute und Bezug zum Klimawandel

Im Kanton Basel sind 23'161 Gebäude (Statistisches Amt Basel-Stadt, Stand 2013) sowie 62'234 registrierte Personenwagen (Statistisches Amt Basel-Stadt, Stand Mai 2014) zu verzeichnen.

Die Verkehrsinfrastruktur umfasst gemäss BFS (2014) 376 km Strassen (10 km Nationalstrassen, 305 km Kantonsstrassen, 61 km Gemeindestrassen) sowie Eisenbahnanlagen der SBB. Der Kanton Basel-Stadt ist über eine Erdgasleitung am Gasnetz angeschlossen und verfügt über drei Einspeisepunkte in das Erdgasnetz des Kantons Baselland. Zudem wird der Kanton Basel-Stadt über sechs Hochspannungsübertragungsleitungen der IWB mit Strom versorgt (Workshop 2014, Stellungnahme IWB 2015).

Als Binnen-Hafenstadt hat der Kanton Basel-Stadt eine nationale sowie internationale Bedeutung. Der Rheinhafen ist für den internationalen Güterumschlag von zentraler Bedeutung. Unter anderem dadurch hat sich in Basel-Stadt ein Zentrum für die Pharma- und Chemieindustrie in der Schweiz entwickelt.

Im Bereich des Rheinhafens wurden in den letzten Jahren Hochwasserschutzmassnahmen umgesetzt, weshalb der Rheinhafen als hochwasserresistent angesehen werden kann. Dies wird in der vorliegenden Risikoanalyse berücksichtigt (Workshop 2014).

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Infrastrukturen und Gebäude werden in OcCC / ProClim (2007) beschrieben. Dabei werden als stärkste Ursachen für Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen in Städten und Agglomerationen Hochwasser, Gewitter / Hagel und Sturm genannt.

In Basel ist der Birsig momentan die bedeutendste Gefahrenquelle, welche massgeblich zum Hochwasserrisiko beiträgt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Das vom Rhein ausgehende Hochwasserrisiko ist dank umfassenden Schutzmassnahmen beschränkt. Der Klimawandel kann zu vermehrten und intensiveren Tagesniederschlägen führen, weshalb eine Kostensteigerung bei den Schäden durch Hochwasser und Gewitter anzunehmen ist. Neben den Hochwassern verursachen Sturm und Hagel jährlich Schäden an Gebäuden. Die zukünftige Entwicklung dieser Gefahren durch den Klimawandel ist jedoch unsicher.

5.4.1. Analyse der Gefahren und Effekte 2060

Die für den Auswirkungsbereich Gebäude und Infrastrukturen relevanten Gefahren und Effekte (vgl. Relevanzmatrix, Kapitel 5.1) werden entsprechend ihrer Priorität und Datenverfügbarkeit in quantitativ oder qualitativ zu beurteilende Auswirkungen unterteilt. Diese Gliederung ist in der nachfolgenden Tabelle 11 dargestellt. Auswirkungen welche sich quantitativ analysieren

lassen, werden im Weiteren vertieft behandelt. Qualitativ abschätzbare Auswirkungen und deren Folgewirkungen werden qualitativ erläutert. Auch diese qualitativ abschätzbaren Auswirkungen werden in der Gesamtbeurteilung entsprechend berücksichtigt. Dies vor allem, da insbesondere hier zum Teil grosse Risikopotenziale vorhanden sein können.

Tabelle 11: Überblick der analysierten Gefahren und Effekte im AWB Infrastrukturen und Gebäude		
Gefahr/Effekt	Quantitativ analysierte Auswirkungen	Qualitativ analysierte Auswirkungen
Hochwasser	Schäden an Gebäuden sowie Verkehrsinfrastrukturen (Strassenverkehr, Schienenverkehr, Schifffahrt, Hafen)	Unterbrüche durch beeinträchtigte Verkehrsinfrastruktur und Ausfälle im Gewerbe
Gewitter	Schäden an Gebäuden durch Hagel und Oberflächenwasser	
Allgemeine Trockenheit		Beeinträchtigung der Rheinschifffahrt
Sturm/Orkan	Schäden an Gebäuden	

a) Infrastrukturen und Gebäude: Hochwasser

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

In diesem Abschnitt werden Schäden an Gebäuden, Strassen-, Schiff- und Bahninfrastrukturen betrachtet. Zusätzlich werden Produktionsausfälle im Gewerbe betrachtet.

Daten der Gebäudeversicherung Basel-Stadt, des Tiefbauamtes und des Elementarschaden-Pools sind hierzu verfügbar.

Vorbehalte und Annahmen

Wie sich das Schadenpotential in Zukunft entwickeln wird, hängt stark von der sozioökonomischen Entwicklung, von raumplanerischen Massnahmen sowie den Schutzmassnahmen ab. Zu den Kosten von Produktionsausfällen des Gewerbes liegen keine Zahlen vor, weshalb der Wert durch das Autorenteam geschätzt wurde. Auch die Schäden der SBB mussten durch das Autorenteam geschätzt werden.

Qualitative Auswirkungen

Die Schifffahrtsstrasse Rhein wird durch Hochwasser beeinträchtigt (Hochwassersperrung gemäss der Hochrheinschifffahrtspolizeiverordnung). Der Unterbruch des Schiffbetriebs dauert durchschnittlich etwa 1 bis 3 Tage je Hochwasser. Die längste Sperrdauer im Aufzeichnungszeitraum war 1999 mit 35 Tagen. Sperren sind primär für die Termingeschäfte kritisch. Bei Hochwasser kann aus Kapazitätsgründen nur ein Teil der blockierten Schiffsgüter auf die Stras-

se oder Schiene verlagert werden. Die restlichen Güter müssen zwischengelagert werden. Die dadurch entstehenden Ausfälle werden vom Autorenteam als vernachlässigbar eingestuft.

Ein Hochwasser des Birsig beeinträchtigt im Falle einer Überflutung primär die Geschäfte in der Innenstadt. Die dadurch entstehenden Ausfälle werden vom Autorenteam mindestens in derselben Grössenordnung geschätzt wie die Schäden an Gebäuden und Fahrhabe.

Die Beeinträchtigung durch Hochwasser der übrigen Verkehrsinfrastruktur (Strasse und Bahn) in Basel-Stadt wird als vernachlässigbar eingestuft.

Quantifizierbare Auswirkungen

Hochwasser 2060:

Die grössten Schäden durch Hochwasser können durch den Birsig entstehen (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Wenn der Durchlass beim Birsigparkplatz bei einem Hochwasserereignis verklaust (verstopft), werden Schäden von rund 500 Mio. CHF erwartet (Workshop 2014). Bei einem 100-jährlichen Hochwasser ist die Kapazität der Munimattbrücke am Birsig auch ohne Verklausung an der Kapazitätsgrenze. Es wird damit gerechnet, dass es in diesem Fall zu Überschwemmungen beim Zoo, im oberen Bereich der Steintorstrasse und bei den Birsig-Parkplätzen kommt. Ein 300-jährliches Ereignis würde sehr grosse Schäden durch Überflutung in der Innenstadt verursachen. Der Rhein, die Birs und die Wiese führen bei einem 100-jährlichen Hochwasser zu keinen nennenswerten Problemen (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

In den Jahren 2003 bis 2012 wurden durch die Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt jährlich durchschnittlich 0.04 Mio. CHF zur Schadensdeckung infolge von Hochwasser an Eigentümer ausbezahlt (Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt).

An der Verkehrsinfrastruktur entsteht bei Hochwasser kein relevanter Schaden.

Aufgrund der oben beschriebenen Daten schätzt das Autorenteam die quantifizierbaren Schäden für ein 100-jährliches Hochwasserereignis auf rund 500 Mio. CHF. Vom Kanton geplante wasserbauliche Massnahmen könnten die potentiellen Schäden reduzieren.

Es wird erwartet, dass sich die Schadenszahlen nicht linear zu den Hochwasserabflüssen verhalten. Der erwartete Anstieg der Intensität von Tagesniederschlägen verschärft die Hochwassersituation im Jahre 2060. Insbesondere bei Bächen und Flüssen wie Birsig, Wiese, Birs und Rhein ist anzunehmen, dass die Hochwasserspitzenabflüsse ansteigen (siehe Bericht Klima Gefahren und Effekte: Kapitel Hochwasser). Hierzu bestehen jedoch keine Detailstudien. Das Autorenteam schätzt die Zunahme der Hochwasserspitzenabflüsse im Jahre 2060 für das Szenario

schwach auf 5 % und für das Szenario stark auf 20 %. Diese Schätzungen werden mit dem Unschärfefaktor 2 eingestuft. Im Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011) wird von einer Zunahme der Hochwasserabflussspitzen von 10 % ausgegangen. Wenn sich das Klima eher wie das Szenario stark entwickelt, könnte sich diese Schätzung nach Einschätzung des Autorenteams als zu optimistisch herausstellen. Das Autorenteam geht davon aus, dass bei einer Zunahme der Hochwasserabflussspitzen um 20 % das Schadenspotential viel stärker zunimmt. Aufgrund der grossen Unsicherheiten und dem grossen möglichen Schadenspotential müssen solche Hochwasserereignisse als Wildcard angesehen werden. Hierzu liegen heute keine Analysen vor. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wäre es interessant diese Szenarien vertieft zu prüfen.

Tabelle 12: Kosten und Erträge um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	0.04	1

Kosten 2060 mit resultierenden Unschärfefaktoren durch Hochwasser im AWB Infrastrukturen und Gebäude.

Tabelle 13: Kosten und Erträge um 2060		
100-jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	500	2

Durch 100-jährliche Hochwasserereignisse verursachte Kosten mit Unschärfefaktor im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

b) Infrastrukturen und Gebäude: Gewitter

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

In diesem Bereich werden Schäden an Gebäuden durch Gewitter, insbesondere Hagel und Oberflächenwasser untersucht. Daten der Gebäudeversicherung Basel-Stadt zu Hagelschäden an Gebäuden sind verfügbar.

Als Oberflächenwasser werden Abflüsse verstanden, welche durch Starkniederschlag entstehen und zu Überflutungen von Strassen, Plätzen und Gebäuden führen. Die Wassermengen des Oberflächenwassers sind bei starken Ereignissen zu gross, als dass diese von Entwässerungsanlagen von Strassen und Plätzen aufgenommen werden könnten. Die Wirkung dieser Gefahrenart ist weitgehend identisch mit der Wirkung von Hochwasser ausgehend von Fliessgewässern oder Seen. Die Abflussbildung wird begünstigt durch versiegelte Flächen und geneigte Topo-

graphie. Zurzeit existieren erst vereinzelt Gefahrenhinweise in Form von Karten zu dieser Gefahrenart in der Schweiz.

Bei einem grösseren Hagelzug können beträchtliche Schäden an Gebäuden entstehen. Die zukünftige Entwicklung von Gewittern und Hagel kann nicht zuverlässig abgeschätzt werden, deshalb wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Quantifizierbare Auswirkungen

Gemäss Aussagen am Workshop 2014 werden bei einem üblichen Hagelereignis durch die Gebäudeversicherung Basel-Stadt 5-10 Mio. CHF für Hagelschäden an Eigentümer ausbezahlt. Bei einem 100-jährlichen Ereignis entstehen Schäden von rund 45 Mio. CHF. Bei einem Extremereignis (Wiederkehrperiode 1000 Jahre) könnten Schäden von bis zu 1.5 Mia. CHF entstehen. Schäden durch Oberflächenwasser sind heute für das Gebiet bei Riehen bekannt. Hier können Schäden von ca. 20 Mio. CHF durch zurückgestautes Oberflächenwasser entstehen. Diese Art von Schäden kann in Zukunft im urbanen Raum eine starke Zunahme erfahren. Bis heute existieren schweizweit keine Gefahrenkarten zu Oberflächenwasser. Die Bemessung von Schutzmassnahmen an Gebäude orientiert sich an sehr häufig eintretenden Ereignissen (10-jährliches Ereignis mit Sicherheitsfaktor). Bei einem Anstieg der Intensität von Tagesniederschlägen bis im Jahre 2060 dürfte somit mit einer Zunahme der Schadenfälle durch Oberflächenwasser gerechnet werden. Die Entwicklung der Schäden hängt jedoch primär von der Nutzung der Untergeschosse und von baulichen Schutzmassnahmen ab. Dies wird unter Kapitel 5.4.3 detaillierter beschrieben.

Als Folge eines 100-jährlichen Gewitters werden durch das Autorenteam Schäden durch Oberflächenwasser in der Grössenordnung von 40 Mio. CHF geschätzt (Unschärfefaktor 3). Jährlich auftretende Oberflächenwasser-Ereignisse verursachen keine Schäden.

Da die zukünftige Entwicklung von Hagel nicht abgeschätzt werden kann, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Tabelle 14: Kosten und Erträge um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	7.5	1
Oberer Bereich	11.3	-
Unterer Bereich	3.8	-

Quantifizierte Kosten 2060 mit resultierenden Unschärfefaktoren durch Hagel im AWB Infrastrukturen und Gebäude.

Tabelle 15: Kosten und Erträge um 2060		
100-jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	85.0	3

Quantifizierte durch 100-jährliche Gewitter und Hagelereignisse verursachte Kosten mit Unschärfefaktor im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

c) Infrastrukturen und Gebäude: Allgemeine Trockenheit

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Die allgemeine Trockenheit hat einen Einfluss auf den Wasserspiegel des Rheins und somit auf die Schifffahrt. Die Effekte werden qualitativ betrachtet.

Qualitative Auswirkungen

Bei niedrigem Wasserstand des Rheins können die Schiffe weniger Ladung aufnehmen, da ansonsten der zulässige Tiefgang überschritten wird. So müssen zur Aufrechterhaltung der Transportkapazitäten mehr Schiffe eingesetzt werden (Workshop 2014). Dies verringert die Wirtschaftlichkeit des Binnenwassergüterverkehrs. Die Mehrkosten werden gemäss der Schweizerischen Schifffahrtsvereinigung für Schifffahrt und Hafenwirtschaft auf die Kunden abgewälzt. Diese Mehrkosten können jedoch nicht quantifiziert werden.

d) Infrastrukturen und Gebäude: Sturm/Orkan

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

In diesem Abschnitt werden Schäden an Gebäuden betrachtet. Daten zu Schäden an Gebäuden basieren auf Angaben der Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt (Workshop 2014).

Quantifizierbare Auswirkungen

In den Jahren 2003 – 2012 wurden von der Gebäudeversicherung durchschnittlich 1 Mio. CHF an Eigentümer ausbezahlt. Für ein 100-jährliches Ereignis schätzt die Gebäudeversicherung Schäden von 60 Mio. CHF ab.

Da die zukünftige Entwicklung der Stürme nicht abgeschätzt werden kann, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Tabelle 16: Kosten und Erträge um 2060		
Mittlere jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	1.0 Mio. CHF	1
Unterer Bereich	0.5 Mio. CHF	-
Oberer Bereich	1.5 Mio. CHF	-

Quantifizierte Kosten 2060 mit resultierenden Unschärfefaktoren durch Sturm/Orkan im AWB Infrastrukturen und Gebäude.

Tabelle 17: Kosten und Erträge um 2060		
100-jährliche Ereignisse in Mio. CHF		
Heute/Szenario	Kosten/Erträge	Unschärfefaktor
Heute	60.0	3

Quantifizierte durch 100-jährliche Sturm-/Orkanereignisse verursachte Kosten mit Unschärfefaktor im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude.

5.4.2. Synthese Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Kosten und Erträge heute und um 2060 aller relevanten Gefahren und Effekten

Im Kanton Basel-Stadt führen Gewitter mit Hagel zu jährlichen Schäden von 7.5 Mio. CHF. Stürme führen zu jährliche Schäden von 1.0 Mio. CHF. Hochwasser verursachen erst bei seltenen Ereignissen grosse Schäden, welche schlagartig sehr hoch werden können. Dies könnte mit steigenden Hochwasserabflussspitzen in Zukunft häufiger vorkommen (Wildcard). Am Birsig können jedoch schon bei einem 100-jährlichen Hochwasser (gemäss Franziska Schwager) im Fall einer Verklausung Schäden in der Grössenordnung von 500 Mio. CHF entstehen. Bei einem 100-jährlichen Sturmereignis wird mit Schäden von 60 Mio. CHF gerechnet. Bei einem 100-

jährlichen Gewitter mit Hagel und Oberflächenabfluss wird von 85 Mio. CHF Schäden ausgegangen (45 Mio. durch Hagel und 40 Mio. durch Oberflächenabfluss). Im Extremfall (Wiederkehrperiode 1000 Jahre) könnten Hagelschäden bis zu 1.5 Mia. CHF entstehen. Mit Vorschriften zu hagelresistenter Bauweise könnte die Verletzlichkeit gegenüber Hagel und damit die potentiellen Schäden verringert werden. Ein grosses - sowie durch die sozioökonomische Veränderung zunehmend wichtiges Schadenpotential - besteht in Bezug auf das Oberflächenwasser. Die potentiellen Schäden sind einerseits stark abhängig von der baulichen Gestaltung der Gebäude, sowie andererseits von der Nutzung der Untergeschosse. Wenn Schäden durch Oberflächenwasser zunehmend auftreten sollten, würde der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen und Fachverbänden entsprechende Massnahmen prüfen. Allenfalls müssten eine Anpassung der Entwässerungsrichtlinien und weitere bauliche Schutzmassnahmen geprüft werden. In diesem Bereich sieht das Autorenteam den grössten Handlungsbedarf für den Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude. Die qualitativen Auswirkungen werden vom Autorenteam als vergleichbar mit den quantifizierten Risiken eingestuft.

Abschliessend scheint es aus Sicht des Autorenteams lohnenswert, die Annahme, dass die Spitzenabflüsse der Hochwasser um 10% ansteigen werden (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011), kritisch zu überprüfen. Hier müssten detaillierte Modellierungen und ein Monitoring zeigen, ob diese Annahme gerechtfertigt ist oder ob allenfalls mit einer ungünstigeren Entwicklung zu rechnen ist.

Gesamtbilanz aller Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Chancen:

Im Bereich Gebäude und Infrastrukturen werden keine Chancen ausgemacht.

Risiken:

Der Klimawandel birgt gemäss den Abschätzungen im Bereich Gebäude und Infrastrukturen zum Teil hohe Risiken. Die mittleren jährlichen Schäden werden mit 8.54 Mio. CHF beziffert. Bei den seltenen Ereignissen können die Risiken gemäss unseren Abschätzungen zum Teil stark zunehmen.

Gesamtbilanz:

Durch den Klimawandel können die Risiken bei seltenen Ereignissen zum Teil deutlich grösser werden. Die Gefahren und Effekte Hochwasser, Hagel sowie Oberflächenwasser weisen das grösste Schadenpotential auf. Durch frühzeitige Einleitung von Massnahmen können die potentiellen Schäden jedoch stark verringert werden.

5.4.3. Sozioökonomisches Szenario Infrastrukturen und Gebäude um 2060

Wie sich die Hochwassersituation in der Zukunft verändern wird kann nicht zuverlässig abgeschätzt werden. Es wird jedoch erwartet, dass die Intensität der Hochwasser zunehmen wird. Deshalb ist es wichtig Schutzmassnahmen entsprechend robust auszugestalten. Dank der Gefahrenkartierung konnten Schwachstellen identifiziert werden und entsprechende Massnahmen eingeleitet werden. An Gebäuden mit einer hohen Gefährdung können auch punktuell Objektschutzmassnahmen gegen Hochwasser realisiert werden.

Für Gebäude und Infrastrukturen stellen die Anzahl, der Wert und die Verletzlichkeit die wichtigsten Einflussfaktoren für die sozioökonomische Entwicklung dar.

Während die Wertsteigerung kaum beeinflussbar erscheint, so kann auf die Veränderung der Verletzlichkeit von Gebäuden und Infrastrukturen massgeblich Einfluss genommen werden. Im Vordergrund stehen hierbei die Gefahren Hagel und Oberflächenwasser. In Punkto Hagelschäden besteht seit der Einführung des Hagelregisters der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen ein taugliches Instrument zum Schutz der Infrastrukturen vor Hagelschäden. Der Kanton Basel-Stadt kann durch die Festlegung eines Mindesthagelwiderstandes für verwendete Materialien der Gebäudehülle die weitere Entwicklung des Schadenspotentials eingrenzen.

Bezüglich Oberflächenwasser fehlt aktuell eine Präventionsstrategie zum Schutz des urbanen Raumes. Das BAFU stellt die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für Oberflächenwasser für die ganze Schweiz innerhalb der nächsten 3 Jahre in Aussicht. Eine Regulierung der Schutzbeurteilung hinsichtlich einer Gefährdung durch Oberflächenwasser ist angesichts der steigenden Verletzlichkeit gegenüber dieser Gefahr sehr wünschenswert. Bis dato liegen keine entsprechenden Vorschläge seitens der zuständigen Fachverbände vor.

Im urbanen Raum entwickelt sich die Verletzlichkeit gegen Oberflächenwasser durch die vermehrte Nutzung von Untergeschossen sowie ebenerdig angeordneten grossen Eintrittsöffnungen (Glasfassaden, Eingangsportale, Tiefgarageneinfahrten, usw.) sehr ungünstig. Hierzu liegen jedoch keine weiterführenden Analysen vor. Aufgrund der zukünftig grösseren Verletzlichkeit muss davon ausgegangen werden, dass die sozioökonomischen Veränderungen deutlich grösser sind als die Veränderungen aufgrund des Klimawandels.

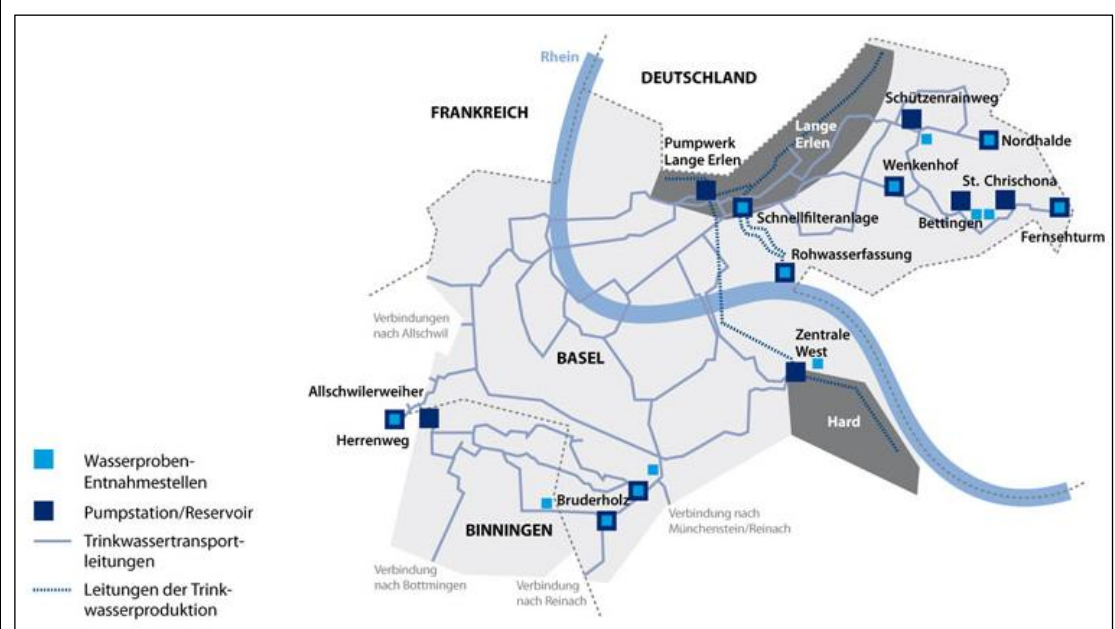
5.5. Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft (Ver- und Entsorgung)

Wasserwirtschaft heute und Bezug zum Klimawandel

Im Kanton Basel-Stadt sind die Industriellen Werke Basel (IWB) für die leitungsgebundene Versorgung von Trinkwasser zuständig. Dies ist im Gesetz über die Industriellen Werke Basel (IWB-Gesetz) vom Februar 2009 geregelt.

Die nachfolgende Karte gibt eine Übersicht über die Trinkwasserversorgung im Kanton Basel-Stadt.

Abbildung 38: Übersicht des IWB-Trinkwasser-Versorgungsgebiets



Quelle: www.iwb.ch, (14.7.2014)

Die IWB geben pro Jahr rund 26 Mio. m³ Trinkwasser ab und unterhalten ein Leitungsnetz von 570 km Länge. Das Trinkwasser wird in den beiden Trinkwasseraufbereitungsanlagen Lange Erlen und Hardwasser in der Muttener Hard (BL) produziert. Die Wasserfördermenge in der Lange Erlen beträgt im schonenden Betrieb 60'000 m³ pro Tag (S. Pfändler IWB, gemäss Telefongespräch vom 28.4.2015). Der durchschnittlichen täglichen Bedarf in Basel-Stadt beträgt 70'000 m³. Die Produktionsstätte im Hardwald wird durch die Hardwasser AG betrieben und hat eine nominale Leistung von 75'000 m³ pro Tag. Basel-Stadt bezieht täglich zwischen 35'000 bis 55'000 m³ von der Hardwasser AG. Beide Anlagen haben die Möglichkeit für Notfälle ihre

Förderkapazität zu erhöhen. Dadurch ist die Wasserversorgung auch bei einem kompletten Ausfall einer Anlage gewährleistet.

Die Kanalisation für das Abwasser liegt im Zuständigkeitsbereich des Tiefbauamts Basel-Stadt. Das kommunale Abwasser wird in der Kläranlage ARA Basel gereinigt. Diese wird im Auftrag der beiden Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft von der Firma ProReno betrieben. Direkt neben der ARA Basel ist die ARA Chemie, welche die Abwasser der chemischen Industrie behandelt (Quellen: Amt für Umwelt BS 2014, Workshop 2014).

5.5.1. Analyse der Gefahren und Effekte 2060

Die für den Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft relevanten Gefahren und Effekte (vgl. Relevanzmatrix, Kapitel 5.1) werden entsprechend ihrer Priorität und Datenverfügbarkeit quantitativ oder qualitativ beurteilt. Diese Gliederung ist in der nachfolgenden Tabelle 18 dargestellt.

Auswirkungen welche sich quantitativ analysieren lassen, werden im Weiteren vertieft behandelt. Qualitativ abschätzbare Auswirkungen und deren Folgewirkungen werden kurz erläutert. Auch diese qualitativ abschätzbaren Auswirkungen werden in der Gesamtbeurteilung entsprechend berücksichtigt. Dies vor allem, da insbesondere hier zum Teil grosse Risikopotenziale vorhanden sind.

Tabelle 18: Überblick der analysierten Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft		
Gefahr/Effekt	Quantitativ analysierte Auswirkungen	Qualitativ analysierte Auswirkungen
Hochwasser		Mögliche Schäden und Beeinträchtigungen an den Einrichtungen der Wasserversorgung und der ARA
Gewitter		Auswirkungen von Starkniederschlagsereignisse auf die Kanalisation
Allgemeine Trockenheit		Mögliche Probleme bei der Trinkwasseraufbereitung in Trockenzeiten werden betrachtet.

a) Wasserwirtschaft: Hochwasser

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Es werden die Bereiche Trinkwasserversorgung (IWB) sowie die Abwasseraufbereitung untersucht.

Bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis ($220\text{--}250\text{ m}^3/\text{s}$) sind gemäss dem Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt durch die Wiese keine Überflutungen

zu erwarten. Ob der Damm deutlich länger anhaltenden Hochwasserereignissen standhalten würde, ist bis dato nicht geklärt. Eine entsprechende Prüfung ist für 2014 vorgesehen. Erst bei einem 300-jährlichen Hochwasserereignis ($290 \text{ m}^3/\text{s}$) würden Teile der Grundwasserschutzzonen Langen Erlen sowie der ehemaligen BaZ-Druckerei überflutet. Die IWB schätzt die Gefahr eines 300-jährlichen Hochwasserereignisses auf Grund der Literatur von Golder (1991) tiefer ein (S. Pfändler per Mail am 28.5.2015).

Gemäss der Gefahrenkarte des Kantons Basel-Landschaft ist der Bereich der Wasserversorgung Hard nicht durch Hochwasser betroffen.

Qualitative Auswirkungen

Durch Hochwasser sind bis zu einem 100-jährlichen Hochwasserereignis keine Schäden zu erwarten. Hochwasser stellt heute in Basel-Stadt also für die betrachteten Intensitäten keine relevante Gefahr für die Trinkwasserversorgung und die ARA Basel dar. Sehr seltene Ereignisse (300-jährliches Hochwasserereignis der Wiese mit $290 \text{ m}^3/\text{s}$) können Teile der Langen Erlen überfluten und dadurch Auswirkungen auf die Grundwasserschutzzone und die Trinkwasseraufbereitung haben. Aufgrund des Klimawandels kann diese Gefahr zunehmen. Die Betreiberin IWB ist auf dieses Szenario vorbereitet und hat diverse Massnahmen realisiert (Rückstauklappe beim Zufluss des Schiffliwiehers, Sicherung von gefährdeten Brunnen durch Schotts). Dank dem Verbund mit der Hardwasser AG kann ein temporärer Ausfall der Langen Erlen während normalen Verbrauchstagen überbrückt werden (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

b) Wasserwirtschaft: Gewitter

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Es wird qualitativ betrachtet, ob bei der Siedlungsentwässerung Schäden bei Gewittern zu verzeichnen sind.

Qualitative Auswirkungen

Bei intensiven Gewittern wird die Kanalisation überlastet. Das heisst, sie kann nicht das gesamte zufließende Wasser aufnehmen, weshalb kontrollierte Entlastungen in die Wiese, die Birs, den Birsig und den Rhein stattfinden (Tiefbauamt des Kantons Basel-Stadt, GEP 2012). Die Entlastungsdauer wird mit genormten Modellregen gemäss Regenmodellen des Bundes modelliert (sie wird jedoch nicht überwacht). Werden die Niederschläge in Zukunft stärker, ist mit häufigeren Entlastungen in die Vorfluter zu rechnen. Das Tiefbauamt rechnet aufgrund von Auswertungen der Niederschlagsdaten (10-Minuten-Werte) der SMA-Messstation Binningen der Jahre 1989 bis 2009 nicht mit einer Zunahme der Starkniederschläge (Regenintensitätsspitzen) (Re-

gierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Das Autorenteam rechnet jedoch aufgrund der Modellierungen von Rajczak et al. (2013) mit einer Zunahme der Regenintensitätsspitzen. Ob jedoch in Zukunft entsprechende Anpassungen an der Kanalisation vorgenommen werden müssen, hängt von weiteren Faktoren ab. Würden weitere Studien diese Zunahme bestätigen, würde der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen und Fachverbänden entsprechende Massnahmen prüfen.

c) Wasserwirtschaft: Allgemeine Trockenheit

Betrachtete Bereiche und Datenverfügbarkeit

Für die Trinkwasseraufbereitung wird das Grundwasser in den beiden Anlagen in den Langen Erlen und in der Hard künstlich mit Rheinwasser angereichert. Dadurch ist auch bei Trockenheit genügend Wasser vorhanden, um die Grundwasserträger zu speisen. Bei niedrigem Abfluss im Rhein konzentrieren sich durch das schlechtere Verdünnungsverhältnis die Schadstoffe stärker. Durch das Wässern können Schadstoffe in den Grundwasserträger gelangen und diesen mit Schadstoffen anreichern. Dazu wären vertiefte Untersuchungen wünschenswert. Dieses Problem ist den IWB bekannt, weshalb ein Bio-Monitoring eingerichtet wurde. Wenn die Schadstoffbelastung im Rhein einen definierten Grenzwert erreicht, wird die Bewässerung mit Rheinwasser solange eingestellt, bis sich die Situation wieder normalisiert hat. Dadurch wird der Grundwasserträger geschützt. (Workshop 2014, IWB 2010, Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011) Aus Sicht des Trinkwasserversorgers besteht hier für den Zeitraum bis 2060 kein Risiko.

Qualitative Auswirkungen

Nach dem heutigen Stand der Kenntnisse ist die Trinkwasserversorgung auch bei allgemeiner Trockenheit nicht gefährdet. Es entstehen dadurch keine Schäden.

5.5.2. Synthese Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

Kosten und Erträge heute und um 2060 aller relevanten Gefahren und Effekten

Die Wasserwirtschaft in Basel-Stadt ist in Bezug auf den Klimawandel sehr gut aufgestellt. Es werden keine mittleren jährlichen Schäden erwartet. Einzig bei einem Hochwasser an der Wie-se mit $290 \text{ m}^3/\text{s}$ (heute 300-jährliches Hochwasser) könnte es zu einer temporären Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung der Langen Erlen führen. An normalen Verbrauchstagen kann dieser Teil-Ausfall jedoch durch die Trinkwassergewinnung im Hardwald kompensiert werden. Das Autorenteam geht entgegen der Abschätzung des Tiefbauamtes von einer Erhöhung der Intensivniederschläge in den betrachteten Klimaszenarien aus. Aufgrund dieser An-

nahme rechnen wir damit, dass zukünftige Anpassungen an der Kanalisation nicht ausgeschlossen werden können um in Zukunft einen ausreichenden Schutz der Gewässer sicherstellen zu können.

Mit dem Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011) besteht bereits eine Erfassung der kritischen Punkte. Zudem werden mögliche Massnahmen aufgezeigt.

Gesamtbilanz aller Gefahren und Effekte im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

Im Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft wurden die Auswirkungen nur qualitativ beschrieben.

▪ **Chancen:**

Aufgrund des Klimawandels wurden im Auswirkungsbereich der Wasserwirtschaft keine Chancen erkannt.

▪ **Risiken:**

Die Wasserversorgung im Kanton Basel-Stadt ist gut aufgestellt. Es wurden nur kleine Risiken festgestellt. Die Grundwasserschutzzonen an der Langen Erlen sind nur durch seltene Hochwasser bedroht, Massnahmen zum Schutz wurden bereits umgesetzt. Ein möglicher Teilausfall kann jedoch im Normalfall durch die Hardwasser AG kompensiert werden. Bei hoher Schadstoffbelastung des Rheins muss die Bewässerung zur Verhinderung einer Schadstoffanreicherung in den Grundwasserleiter unterbrochen werden. Ein entsprechendes Monitoring wurde installiert. Bei der Kanalisation sieht das Autorenteam mögliche Probleme durch Intensivniederschläge. Wenn weitere Studien die Zunahme der Niederschlagsintensitäten von Intensivniederschlägen in Zukunft bestätigen würden, würde der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen und Fachverbänden entsprechende Massnahmen prüfen. Der Wiederbeschaffungswert der öffentlichen Kanalisation in der ganzen Schweiz beträgt rund 66 Mia. CHF (Mitteilung von M. Schärer des BAFU, 16.12.2014), massgebliche Anpassungen dieses Systems sind sehr kostspielig und nur über einen längeren Zeitraum realisierbar.

▪ **Gesamtbilanz:**

Für die Wasserwirtschaft wurden keine Chancen erkannt. Die Risiken sind gering und den zuständigen Stellen bekannt. Einzig die Entwicklung der Starkniederschläge schätzt das Autorenteam etwas anders ein als das Tiefbauamt und sieht deshalb einen entsprechenden Handlungsbedarf. Ansonsten ist die Wasserwirtschaft im Kanton Basel-Stadt gut aufgestellt und für den Klimawandel gerüstet. Gesamthaft wird die Bilanz der Wasserwirtschaft als eher negativ eingestuft.

5.5.3. Sozioökonomisches Szenario Wasserwirtschaft um 2060

In den letzten vierzig Jahren hat sich der Trinkwasserverbrauch praktisch halbiert. Dies ist primär auf einen starken Rückgang des Verbrauchs durch Industrie und Gewerbe zurückzuführen. Der durchschnittliche Trinkwasserverbrauch pro Tag liegt heute im Kanton Basel-Stadt bei 70'000 m³. Diese Menge kann heute auch bei Ausfall einer Anlage (n-1) bereitgestellt werden. Steigt die Einwohnerzahl um 31% (starkes Szenario) wird der tägliche Trinkwasserverbrauch ansteigen. Im heutigen Ausbaustand kann die Trinkwasserversorgung auch dann problemlos aufrechterhalten werden. In der Langen Erlen besteht Ausbaupotential. Gemäss Rüetschi (2004) könnte aus dem Grundwasser der Langen Erlen Trinkwasser für maximal 0.5 – 1.0 Mio. Personen gefördert werden. Damit bestehen genügend Reserven, wenn die Trinkwasserversorgung ausgebaut werden müsste.

Die ARA Basel ist im heutigen Ausbaustand nicht fähig 30% mehr Abwasser zu klären. Ein Projekt zur Modernisierung der ARA ist in Ausarbeitung. Dadurch sollen die Schadstoffeinträge in die Gewässer weiter reduziert und damit ein ausreichender Schutz der Gewässer gewährleistet werden können. Die ARA Basel soll hierbei auch leicht ausgebaut werden (gemäss Telefonat mit ProReno 8.9.2014).

Nimmt die Bevölkerung stark zu, sind die sozioökonomischen Auswirkungen grösser als die Veränderung aufgrund des Klimawandels. Nimmt die Bevölkerung leicht zu, sind die sozioökonomischen Auswirkungen gleich gross wie die quantifizierten Veränderungen. Bei einer Abnahme der Bevölkerung entstehen Chancen.

5.6. Auswirkungsbereich Biodiversität und Grünflächen

In Agglomerationsgebieten sind durch die klimabedingten Veränderungen sowohl Auswirkungen auf die Biodiversität als auch auf die verschiedenen urbanen Grünräume zu erwarten. Grünräume haben eine wichtige Funktion im Zusammenhang mit dem Stadtklima, des Wasserhaushalts und der Luftqualität. Sie sind aber gleichzeitig auch wichtige Lebensräume und damit wertvoll für die Biodiversität. Umgekehrt sind auch viele urbane Ökosysteme wichtige Erholungsräume. Da es viele räumliche Überschneidungen zwischen diesen beiden Auswirkungsbereichen gibt, werden diese im gleichen Kapitel behandelt.

Die Trennung nach Auswirkungen in den Bereichen Grünflächen und Biodiversität erfolgt wegen der zahlreichen Überschneidungen nicht räumlich, sondern nach den betroffenen Ökosystemleistungen. In einem ersten Teil werden die klimabedingten Auswirkungen auf die Biodiversität beschrieben. Dabei erfolgt keine räumliche Unterscheidung zwischen Grünflächen und anderen Ökosystemen sondern es werden alle Standorte in Bezug auf ihre Bedeutung für die Biodiversität untersucht. Im Kapitel Grünflächen werden die entsprechenden Auswirkungen auf die Freiräume untersucht, die als Erholungsgebiete genutzt werden oder einen positiven Effekt auf das Stadtklima ausüben. Das Kapitel zu den sozioökonomischen Auswirkungen folgt der gleichen Struktur.

Urbane Biodiversität heute

Der urbane Raum ist weitgehend vom Menschen geschaffen und ist in Bezug auf die Artenvielfalt weniger gut erforscht. Aufgrund der dichten Bebauung und dem hohen Versiegelungsgrad unterscheiden sich die städtischen Lebensräume stark von den Ökosystemen in den umliegenden Gebieten. Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Monokulturen weisen unversiegelte Flächen in Siedlungsgebieten dank der vielfältigen Strukturen jedoch eine vergleichsweise hohe Artenvielfalt auf. Zum einen gibt es Arten, welche sich an das Leben in der Stadt angepasst haben. Beispielsweise finden Felsbrüter an Gebäudefassaden Nistplätze und Ruderalpflanzen, die natürlicherweise an kargen und trockenen Standorten vorkommen, können sich entlang von Wegrändern, auf Bahnarealen oder Kiesplätzen sehr gut gedeihen (Kozłowski 2003). Daneben ist der urbane Raum auch durch ein vielfältiges Mosaik an unterschiedlichen naturnahen Lebensräumen charakterisiert (Lachat et al. 2010). Es gibt verschiedene Arten von Grünflächen, wie Parkanlagen, Gärten, begrünte Verkehrsflächen und Gewässer, welche für ganz unterschiedliche Arten ein Überleben in der Stadt ermöglichen. Neben diesen sogenannten Makrohabitaten gibt es auch Klein- und Kleinstlebensräume, wie Mauern und Pflasterritzen, wo sich besonders spezialisierte Arten ansiedeln können (Kozłowski 2003).

Die städtische Artenvielfalt ist jedoch teilweise stark bedroht, da die Lebensräume häufig strukturarm, stark fragmentiert und isoliert sind. Die unzureichende Vernetzung der Populatio-

nen ist vor allem auf den Überbauungsdruck und den zunehmenden Versiegelungsgrad im Stadtgebiet zurückzuführen und ist daher hauptsächlich durch die sozioökonomische Entwicklung bedingt. Zudem sind Ökosysteme im Siedlungsgebiet einem raschen Wandel unterworfen, da sich das Stadtbild laufend verändert. Weiter wirken sich eine monotone Ausgestaltung und eine intensive Bewirtschaftung von Grün- und Freiflächen negativ auf die Biodiversität aus. Aufgrund der guten Erschliessung der Städte, ist dort auch die Einwanderung von gebietsfremden Arten am grössten, da diese vor allem durch menschliche Aktivitäten gefördert und entlang von Verkehrsachsen teilweise sehr rasch ausbreiten können. So ist in Siedlungsgebieten beispielsweise ein deutlich höherer Anteil an gebietsfremden Pflanzen zu verzeichnen als im Umland (BAFU 2009). Die Biodiversität und die Grünflächen in Basel sind speziell geprägt durch das Mesoklima und stellen eine trockenwarme Einfallspforte ins Landesinnere dar.

Grünflächen Heute

Die städtischen Grünflächen umfassen sehr unterschiedliche Arten von Flächen. Die wichtigsten öffentlich zugänglichen Grünflächen sind Parkanlagen. Daneben gibt es verschiedene zweckgebundene Grünflächen wie Sportanlagen, Freibäder und Friedhöfe sowie private Gärten. Erholungsflächen und öffentliche Grünräume haben im Kanton Basel-Stadt einen Flächenanteil von etwa 10% (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2012). Insgesamt kann der Kanton Basel-Stadt mit 9m² pro Einwohner eine ausreichende Versorgung mit Grün- und Freiraumflächen gewährleisten, jedoch ist die räumliche Verteilung nicht optimal. Um eine ausreichende Versorgung sicherzustellen müssten öffentliche Grünflächen innerhalb von etwa 7-10 min erreichbar sein. Unter dieser Einschränkung ist nur für etwa die Hälfte der Wohnbevölkerung und etwa 40 % der Arbeitsplätze ausreichend Zugang zu Grünräumen gewährleistet und es würde ein Bedarf von etwa 30 ha an öffentlichen Grünflächen bestehen. Diese potentielle Unterversorgung könnte durch die Aufwertung bestehender und die Schaffung neuer Grünflächen reduziert werden. Alternativ bestünde die Möglichkeit, private Anlagen der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Im Kanton Basel-Stadt sind unterschiedliche planerische Massnahmen vorgesehen, um das Angebot und den Zugang zu den grünen Freiräumen aufzuwerten und zu erweitern (Baudepartement des Kantons Basel-Stadt 2004).

5.6.1. Analyse der Gefahren und Effekte 2060

Durch die erwarteten klimatischen Veränderungen sind zahlreiche Auswirkungen auf die Biodiversität und die städtischen Grünräume zu erwarten. Die Zuordnung zu einzelnen Gefahren und Effekten kann nicht eindeutig gemacht werden, da die Ökosysteme durch komplexe Wechselwirkungen und eine Vielzahl von Einflussfaktoren charakterisiert sind. Die folgende Tabelle

soll daher nur einen Überblick geben über die untersuchten Aspekte im Bereich der städtischen Natur- und Grünräume.

Tabelle 19: Überblick der analysierten Gefahren und Effekte im AWB Biodiversität und Grünflächen		
Gefahr/Effekt	Quantitativ analysierte Auswirkungen	Qualitativ analysierte Auswirkungen
Hochwasser		Biodiversität: Veränderung der Artenzusammensetzung in aquatischen Ökosystemen
Änderung im Niederschlagsregime		Biodiversität: Veränderung der Artenzusammensetzung Grünflächen: ev. erhöhter Bewässerungsbedarf
Allgemeine Trockenheit		Biodiversität: Veränderung der Artenzusammensetzung in urbanen Ökosystemen Grünflächen: Bewässerungsbedarf bei Vegetationsflächen und Baumbeständen in Parkanlagen Benutzbarkeit der Grünflächen
Kältewelle		Biodiversität: Etablierung und Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten Grünflächen: Schäden an Vegetation durch das Salzen der Strassen
Hitzewelle		Biodiversität: Risiko von Fischsterben Veränderte Artenzusammensetzung in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen Grünflächen: Bewässerungsbedarf bei Vegetationsflächen und Baumbeständen in Parkanlagen Benutzbarkeit der Grünflächen
Veränderung Mitteltemperatur		Biodiversität: Beeinträchtigung der Gewässerökologie durch den Anstieg der Wassertemperatur Etablierung und Ausbreitung gebietsfremder Arten und Zunahme des invasiven Verhaltens wird begünstigt Grünflächen: Ausbreitung von Schadorganismen

Biodiversität und Klimawandel

Im Folgenden werden die wichtigsten Auswirkungen des Klimawandels auf die städtische Biodiversität beschrieben. Da die Auswirkungen nicht einer einzelnen Gefahr zugeordnet werden können sondern immer durch ein komplexes Zusammenwirken unterschiedlicher Einflussfaktoren entstehen, erfolgt die Gliederung nicht nach einzelnen Effekten sondern thematisch. Zent-

ral sind die Auswirkungen im Bereich der Veränderung der Artenvielfalt, der Gewässerökologie und der Etablierung und Ausbreitung gebietsfremder Arten.

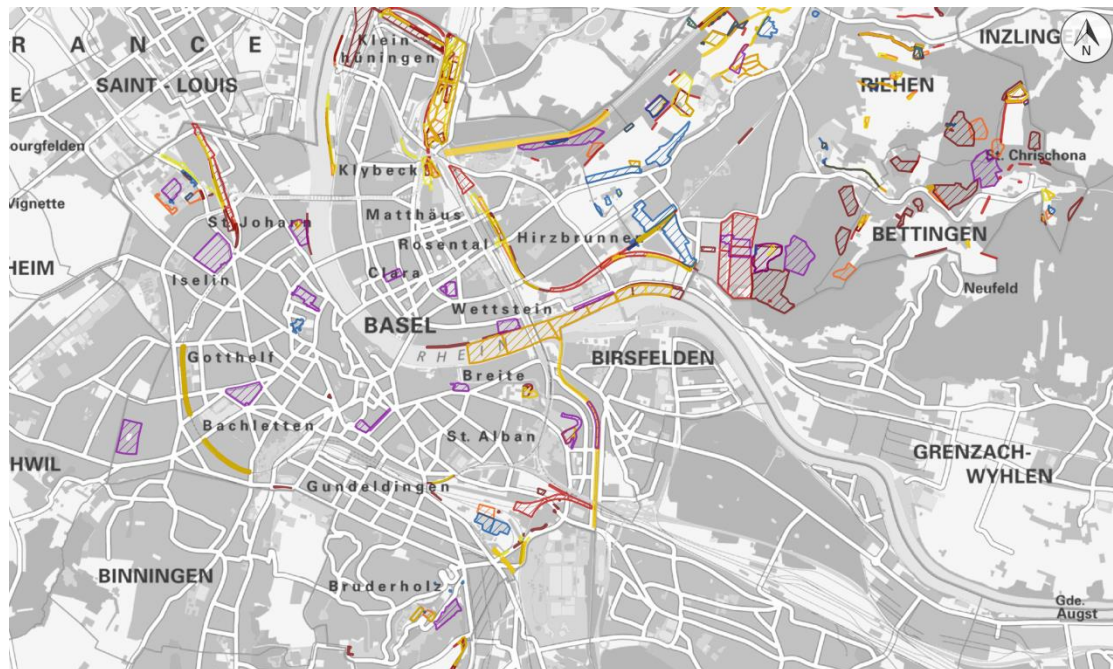
Artenvielfalt in urbanen Lebensräumen:

Bereits heute ist die urbane Biodiversität durch trockenheits- und wärmeliebende Pflanzen und Tiere charakterisiert, da das Stadtgebiet im Vergleich zum Umland tendenziell höhere Temperaturen aufweist und da im Kanton Basel-Stadt bereits heute ein trockenwarmes Mesoklima herrscht. Wertvolle Lebensräume sind an unterschiedlichsten Standorten wie Bahnarealen, Trockenmauern, auf Industriebrachen oder in Dachgärten zu finden. Im Zusammenhang mit den erwarteten klimatischen Veränderungen ist an den Standorten nicht von einer direkten Bedrohung auszugehen, da die Arten bereits heute an Trockenheit und hohe Temperaturen angepasst sind. Ob sich diese Lebensgemeinschaften möglicherweise sogar ausdehnen könnten, hängt primär davon ab, wie gut die Ökosysteme vernetzt sind. Entscheidend für die Entwicklung der Ökosysteme ist daher, ob im Rahmen der Siedlungsplanung eine naturnahe Ausgestaltung angestrebt wird und ob Massnahmen zur Aufwertung und zum Schutz bestehender Standorte umgesetzt werden. Die Auswirkungen sind daher stark von den sozioökonomischen Entwicklungen abhängig und können nicht unabhängig beurteilt werden.

Neben den verschiedenen Trockenstandorten gibt es im Siedlungsraum jedoch auch verschiedene weitere Lebensräume, welche von den erwarteten klimatischen Veränderungen betroffen sind. Für den Kanton Basel-Stadt wurden die schützenswerten Naturobjekte anhand von Felduntersuchungen identifiziert und in einem kantonalen Inventar erfasst²⁹ (Abbildung 39). Dieses beinhaltet die Flächen, welche aufgrund des Artenvorkommens besonders schützenswert sind.

²⁹ <http://www.stadtgaertnerei.bs.ch/oekologische-verantwortung/naturinventar.html> (15.1.2015)

Abbildung 39: Biodiversität im Kanton Basel-Stadt



Taxonobjekte nach Gruppen

letzte Datenaktualisierung: 3. Oktober 2013

- /// Amphibien
- /// Fledermäuse
- /// Heuschrecken
- /// Libellen
- /// Mollusken
- /// Reptilien
- /// Tagfalter

Quelle: Geodaten Kanton Basel-Stadt, www.geo.bs.ch 15.1.2014 www.stadtplan.bs.ch 15.1.2014, Dieser Planausdruck hat nur informativen Charakter, Ausdruck vom 2. Juli 2014, Massstab 1:50000. Es ist zu beachten, dass bei der Erfassung der schützenswerten Naturobjekte die Fischfauna noch nicht berücksichtigt wurde. Aus diesem Grund fehlen entsprechend schützenswerte Objekte wie z.B. das Laichgebiet von nationaler Bedeutung in Wiese (beim Hochbergerplatz) und das schützenswerte Laichgebiet in der Birs (unterhalb Fussgängerbrücke)

Die Karte in Abbildung 39 zeigt, dass im Siedlungsgebiet sehr unterschiedlichen Artengruppen vorkommen. Grob können zwei Arten von Lebensräumen unterschieden werden. Zum einen gibt es verschiedene Trockenstandorte, wie zum Beispiel Bahnareale, wo sich Reptilien und trockenheitsliebende Insektenarten wie Heuschrecken und Tagfalter angesiedelt haben. Dane-

ben gibt es aber auch Feuchtgebiete, welche vor allem Mollusken, Amphibien und Libellen Lebensraum bieten sowie ein ausgedehntes Fließgewässernetz (siehe Kapitel Gewässerökologie). Zudem sind verschiedene Standorte für das Bestehen von städtischen Fledermauspopulationen von Bedeutung (z.B. Insektenreiche Wiesen als Nahrungsgrundlage). Das Inventar umfasst 624 schützenswerte Naturobjekte. Davon haben 205 Objekte kantonale und 388 Objekte lokale Bedeutung und 31 Objekte sind von gesamtschweizerischer Bedeutung. Letztere umfassen vor allem Trockenwiesen und Amphibienlaichgebiete und sind auch in den nationalen Inventaren erfasst.

Tabelle 20: Inventarobjekte nach Lebensraumtyp		
Lebensraumtyp	Anzahl Objekte total	Anteil der Lebensraumtypen
Stadtgrün	86	14%
Ruderalflächen	100	16%
Wiesen, Weiden, Scherrasen	202	32%
Gehölze, Obstgärten, Waldränder	86	14%
Wälder	68	11%
Fließgewässer, Quellen	49	8%
Weiher, Feuchtbiotope	33	5%
Total	624	100%

Zahl der schützenswerten Naturobjekte nach Lebensraumtyp

Die Zahl der schützenswerten Naturobjekten ist nicht gleichmässig auf die unterschiedlichen Lebensraumtypen verteilt. Sie sind hauptsächlich an eher trockenen Standorten wie Ruderalflächen und Wiesen zu finden, während in den Feuchtgebieten und Gewässern vergleichsweise wenige schützenswerte Standorte übrig geblieben sind. Von besonderer Bedeutung sind die Ruderalflächen im Bereich der Bahn- und Hafenanlagen (Ewald et al. 1984, Lachat et al. 2010). Die gemäss der angewendeten Untersuchungsmethodik wertvollsten Gebiete sind Ruderalflächen auf dem Gelände des ehemaligen Rangierbahnhofs der Deutschen Bahn. Sie zeichnen sich durch eine grosse Zahl an gefährdeten Arten und eine hohe Artenvielfalt an Pioniervegetation, Heuschrecken, Tagfaltern und Reptilien aus (Naturinventar 2011).

Durch die Veränderung der klimatischen Bedingungen sind je nach Standort, aber auch je nach Art, sehr unterschiedliche Auswirkungen zu erwarten. Feuchtgebiete sind tendenziell eher gefährdet, während Trockenstandorte von der erwarteten Häufung der Hitze- und Trockenperioden profitieren könnten. Sehr resistente, gebietsfremde Arten wie beispielsweise der Götterbaum können sich jedoch unter diesen Bedingungen ebenfalls sehr gut entwickeln und somit entsteht ein erhöhter Konkurrenzdruck auf die ansässigen Populationen (Kapitel: Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten und Schadorganismen).

Gewässerökologie:

Neben dem Rhein und den grösseren Rheinzufüssen Wiese, Birs und Birsig umfasst das Gewässernetz des Kantons Basel-Stadt auch verschiedene kleine Bäche und ehemalige Gewerbekanäle (z.B. Mühleleichen, St. Albenteich). Entsprechend haben auch die aquatischen Lebensgemeinschaften sehr unterschiedlichen Charakter. Der heutige Zustand der für die Fischfauna bedeutenden Gewässer wurde im Rahmen von geplanten Revitalisierungsprojekten sowie bei nachfolgenden ökologischen Wirkungskontrollen bereits ausführlich untersucht (z.B. WFN 2005, WFN 2010, WFN 2012, Life Science AG 2005, Life Science AG 2006).

Klimabedingte Veränderungen sind vor allem durch die ansteigenden Wassertemperaturen zu erwarten. Erhöhte Wassertemperaturen führen einerseits zu einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit und andererseits führt die gleichzeitig stattfindende Abnahme der Sauerstoffkonzentration zu einer Stresssituation für kälteliebende Fischarten (Salmoniden: Äsche, Bachforelle, Lachs) und andere aquatische Lebewesen. Überschreiten die Wassertemperaturen über mehrere Tage einen Schwellenwert von 15°C, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Bachforellen an PKD (Proliferative Kidney Disease, Proliferative Nierenkrankheit) erkranken, deutlich an. Steigen die Temperaturen häufig über 18°C an, stehen kälteliebende Fischarten zunehmend unter Temperaturstress. Erreichen oder überschreiten die Wassertemperaturen den Grenzwert 25°C an mehreren Tagen, steigt das temperaturbedingte Mortalitätsrisiko stark an. Diese Situation war im Sommer 2003 an der Messstation Rhein bei Weil unterhalb von Basel zu beobachten. In Zukunft ist somit durch den erwarteten Anstieg der mittleren Lufttemperatur sowie der Zunahme an Hitzewellen mit einer Häufung solcher Vorkommnisse zu rechnen (BUWAL 2004). Im Folgenden wird beispielhaft der Zustand der Fischfauna der Wiese beschrieben.

Die Wiese hat ein Abflussregime, das im Winter häufig von Hochwasser betroffen ist, da es im Einzugsgebiet keine Speichermöglichkeiten gibt für die anfallenden Niederschläge. Die Gewässer der Wieseebene sind gemäss ökomorphologischer Klassifikation (Strukturgüte) mehrheitlich künstlich oder stark beeinträchtigt. Die Seitengewässer sind tendenziell eher wenig beeinträchtigt und es gibt sogar naturnahe Abschnitte. Die Wiese ist ein Nasenlaichplatz von nationaler Bedeutung. Einer der letzten grösseren Schweizer Laichplätze liegt mitten im Siedlungsgebiet (Hochbergerplatz). Daher können klimabedingte Veränderungen in diesem Gewässerabschnitt potentiell gravierende Auswirkungen haben. Zudem sind auf dem Kantonsgebiet verschiedene Rote-Liste-Arten vertreten (Nase, Lachs).

Der Zustand der Fischfauna wurde im Rahmen einer Studie im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie untersucht (WFN 2005). Die Beurteilung erfolgte nach den Vorgaben der Vollzugsmitteilung des BAFU, welche eine Beurteilung basierend auf ausgewählten Indikatorarten vorsieht (Schager und Peter 2004). Als Indikatorarten werden dabei diejenigen Arten bezeichnet, die be-

sonders intolerant sind in Bezug auf anthropogene Störungen. Eine weitere Untersuchung der Gewässer erfolgte im Jahr 2010 zur Bestimmung des Ausgangszustandes für die geplante Revitalisierung des Unterlaufs der Wiese im Jahr 2012 (WFN 2012).

Die Artenvielfalt der Gewässer der Wieseebene³⁰ wurde über eine elektrische Befischung an charakteristischen Strecken sowie ergänzende punktuelle Befischungen bestimmt (WFN 2005). Die Kernelemente der Analyse umfassen die Bestimmung des Anteils an Indikatorarten, deren Populationsaufbau und Individuendichte. Zudem werden allfällige Krankheitsmerkmale erfasst (WFN 2005). Die Ergebnisse zeigen, dass nur 10% der Gewässerabschnitte in einem guten Zustand sind. Die Mehrheit ist in mässigem Zustand (50%) und der Rest ist in unbefriedigendem (30%) bis schlechtem (10%) Zustand.

Die bestehenden Defizite sind vor allem der fehlenden Strukturvielfalt aufgrund der zahlreichen Verbauungen der Gewässer zuzuschreiben. Diesbezüglich sind durch die erwarteten klimatischen Veränderungen keine direkten Auswirkungen zu erwarten. Die erwartete Intensivierung der Hochwasser führt jedoch zu einer Veränderung der bestehenden Lebensräume und verändert daher möglicherweise auch deren Artenzusammensetzung. Vor allem zum Zeitpunkt der Laichablage sowie während der Inkubationszeit und der Entwicklung der Jungfische können Hochwasser die Entwicklung der Jungtiere stark beeinträchtigen. Da zeitliche Verschiebungen im Auftreten von Hochwassern zum heutigen Zeitpunkt nicht genau bekannt sind, ist auch das Ausmass der Auswirkungen auf die Gewässerökologie nur schwer abzuschätzen.

Für die Wiese stehen seit 2008 Temperaturmessdaten zur Verfügung. Die Stundenwerte variierten im Jahr 2011 in einem Bereich von 1.4 – 28.3°C (WFN 2012). Der Jahresverlauf zeigt, dass die Tagestemperaturen im Sommerhalbjahr die 15° Grenze über längere Zeit überschreiten und auch der Grenzwert von 18°C wird regelmässig überschritten. Das maximale Tagesmittel überschreitet auch bei der Birs und beim Rhein die Grenzwerte (Abbildung 40). Somit sind die Fischpopulationen regelmässig mit Hitzestress und erhöhtem Krankheitsrisiko konfrontiert. Durch den erwarteten Anstieg der Gewässertemperaturen ist somit vermehrt mit negativen Auswirkungen auf die Gewässerökologie zu rechnen.

³⁰ Beschränkt auf das Schweizer Gebiet

Abbildung 40: Maximaltemperaturen und Überschreitungsdauer verschiedener Temperaturgrenzwerte

Gewässer, Messstelle	Max. Tagesmittel	Anzahl Tage ≥ 15°C	Anzahl Tage ≥ 25°C
Rhein, Palmrainbrücke			
2003	26°C	145 d	15 d
2008	22,6°C	146 d	0 d
2009	24,2°C	155 d	0 d
Birs, Münchenstein			
2003	23,1°C	123 d	0 d
2008	19,7°C	83 d	0 d
2009	21,2°C	124 d	0 d
Wiese, Freiburgerstrasse			
2003	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
2008	22,0°C	102 d	0 d
2009	22,6°C	137 d	0 d

Historische Maximaltemperaturen und Überschreitungsdauer der Temperaturgrenzwerte. Das Überschreiten der 15°C Grenze erhöht die Mortalität von an PKD erkrankten Fischen und bei Temperaturen über 25°C steigt die hitzebedingte Mortalität deutlich an. Quelle: Amt für Umwelt und Energie BS.

Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten und Schadorganismen:

Die Artenvielfalt im Siedlungsgebiet ist im Vergleich zu umliegenden Gebieten deutlich stärker dem Druck durch invasive gebietsfremde Arten ausgesetzt. Die Gründe sind eine hohe menschliche Aktivität und das dichte Netz von Strassen und Wasserwegen. Modellstudien zur Ausbreitung von gebietsfremden Pflanzen in der Schweiz zeigen, dass durch eine ansteigenden Mitteltemperatur die Ausbreitung dieser Arten vor allem im städtischen Raum begünstigt wird (Nobis et al., 2009). Durch die erwarteten klimatischen Veränderungen ist vor allem auch in Gewässern vermehrt mit dem Auftreten neuer Arten zu rechnen. Bei diesen Arten ist unter den heutigen klimatischen Bedingungen keine Massenausbreitung möglich. Durch die erwartete Erwärmung der Wassertemperaturen ist zu erwarten, dass solche Arten in Zukunft einen Konkurrenzvorteil haben und möglicherweise ein invasives Verhalten entwickeln könnten (BUWAL 2005). Diese Bedrohung beschränkt sich nicht nur auf Gewässer sondern betrifft möglicherweise auch andere Ökosysteme.

Ebenso wird die Ausbreitung von Schadorganismen durch den erwarteten Rückgang an Kältewellen und den Anstieg der Mitteltemperatur begünstigt. Zudem können auch die komplexen Interaktionen zwischen verschiedenen Arten, wie beispielsweise Parasiten-Wirtsbeziehungen, gestört werden, wenn sich die interagierenden Arten unterschiedlich anpassen. Dadurch können bestehende, aufeinander abgestimmte Artengefüge aus dem Gleichgewicht gebracht werden, was zu gravierenden Veränderungen der Artenvielfalt führen kann (Essel und Rabitsch 2013).

Die Einschleppung gebietsfremder Arten ist im Kanton Basel-Stadt bereits heute ein wichtiges Thema. Gründe sind die Lage an einem bedeutenden Schifffahrtsweg und der hohe Güterumschlag in den Rheinhäfen. Der Kanton beobachtet daher die Ausbreitung von gebietsfremden Arten laufend³¹ und setzt verschiedene Bekämpfungs- und Präventionsmassnahmen um.

Besonders gefährdet ist das Gewässernetz, da der Ausbau der Wasserwege das Risiko der Ausbreitung von gebietsfremden Arten deutlich erhöht. Gravierende Auswirkungen hatte beispielsweise die Vernetzung des Rheins mit dem Donau-Schwarzmeer-System über den Main-Donaukanal im Jahr 1993. Diese Verbindung hatte weitreichende Konsequenzen für die Artenzusammensetzung, da sie den Austausch zwischen zwei bislang getrennten Ökosystemen ermöglichte. Die Etablierung und Ausbreitung von anpassungsfähigen Arten führte zu einer massiven Zunahme der Individuenzahl und der Biomasse an gebietsfremden wirbellosen Lebewesen, wie Krebse und Muscheln. Gleichzeitig wurde auch ein Rückgang der einheimischen Populationen beobachtet. Da die wirbellosen Arten Teil eines Nahrungsnetzes sind, verändert sich durch diese Entwicklung die Nahrungsgrundlage von anderen Organismen sowohl quantitativ wie auch qualitativ. Folglich ist beispielsweise auch bei den Fischen mit Veränderungen in der Artenvielfalt zu rechnen (BUWAL 2005).

Eine der wichtigen Ausbreitungsbarrieren für gebietsfremde Tiere in Gewässern ist das Temperaturregime eines Fliessgewässers. So können beispielsweise die Minimaltemperaturen die Ausbreitung einer wärmeliebenden Art räumlich einschränken. Durch den erwarteten klimabedingten Anstieg der Gewässertemperaturen ist daher auch eine Verschiebung solcher Ausbreitungsbarrieren zu erwarten (BUWAL 2005). Entsprechend muss mit der Einwanderung neuer Arten und der Ausbreitung der bereits vorhandenen gebietsfremden Tiere in andere Gewässerabschnitte gerechnet werden, während kälteliebende einheimische Arten in höhere Regionen abwandern.

Zusammenfassend sind sowohl aquatische wie auch terrestrische Ökosysteme durch den Klimawandel einem stärkeren Konkurrenzdruck durch gebietsfremde Arten ausgesetzt. Die erwarteten klimatischen Veränderungen begünstigen einerseits die Einwanderung neuer Arten und andererseits ist mit einer weiteren Ausbreitung der bereits ansässigen gebietsfremden Tiere und Pflanzen zu rechnen, wenn sich klimabedingte Ausbreitungsbarrieren verschieben. Daher sind auch bei den trockenwarmen Standorten, die tendenziell von den klimatischen Veränderungen profitieren, teilweise negative Auswirkungen zu erwarten.

Gewisse Arten können möglicherweise auch von der Ausbreitung gebietsfremder Arten profitieren, wenn sich beispielsweise ihr Nahrungsangebot erweitert, während andere aus

³¹ <http://www.stadtgaertnerei.bs.ch/oekologische-verantwortung/invasive-neophyten.html> (15.1.2015)

ihrem ursprünglichen Lebensraum verdrängt werden. Aufgrund der komplexen Interaktionen in Ökosystemen ist jedoch kaum abschätzbar, welche Arten und Lebensgemeinschaften von der erwarteten klimatischen Veränderung profitieren werden und welche dadurch eher einer Bedrohung ausgesetzt sind.

Grünflächen und Klimawandel

Grünflächen haben eine klimatische Ausgleichsfunktion, da die Vegetation grosse Mengen an Wasser verdunstet und so einen kühlenden Effekt auf die Umgebung ausübt. Sie können somit die Auswirkungen von Hitzeperioden mildern und sind dank der schattenspendenden Vegetation wichtige Erholungsräume. Zudem sind Pflanzen in der Lage Luftschadstoffe zu filtern und tragen somit zur Verbesserung der Luftqualität bei, was aber wiederum Schäden an der Vegetation hervorrufen kann (Econcept 2013). Da Grünflächen die negativen gesundheitlichen Auswirkungen im urbanen Raum reduzieren können, werden sie im Zusammenhang mit der erwarteten Häufung und Intensivierung von Hitzewellen an Bedeutung gewinnen.

Neben der Verbesserung des Stadtklimas haben Grünflächen eine weitere wichtige Funktion bei der Siedlungsentwässerung. Unversiegelte Flächen können dank ihrer Versickerungsleistung und ihrer Retentionsfähigkeit das Risiko von hochwasser- und niederschlagsbedingten Schäden reduzieren. Im Zusammenhang mit der erwarteten klimatischen Veränderung ist daher zu erwarten, dass der Stellenwert der Grünflächen noch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Entsprechend ist die Untersuchung der erwarteten klimabedingten Auswirkungen besonders wichtig.

Erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf bestehende Grünflächen

Die unterschiedlichen Ökosystemleistungen von Grünflächen werden durch verschiedene klimatische Veränderungen beeinflusst. Dabei sind vor allem negative Auswirkungen zu erwarten. Hitzewellen und Trockenperioden führen zu einer Verkrustung des Bodens und verringern somit die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (BAFU 2012a). Dies hat eine reduzierte Verdunstung zur Folge und somit eine Abnahme des Kühlungseffekts. Zudem ist auch die Versickerungsfähigkeit reduziert und entsprechend steigt die Gefahr einer Überlastung der Abwassersysteme bei intensiven Niederschlagsereignissen. Durch die erwartete Häufung und Intensivierung der Hitzewellen und Trockenperioden ist daher ein erhöhter Bewässerungsbedarf oder eine eingeschränkte Nutzbarkeit der öffentlichen Grünflächen zu erwarten.

Der Temperaturanstieg begünstigt tendenziell die Ausbreitung von Schadorganismen und Krankheitserregern und führt somit zu Schäden an der Vegetation und beeinträchtigt somit die Leistungen dieser Ökosysteme. Daher ist durch die erwartete klimatische Veränderung mit entsprechend höherem Pflegebedarf und Kosten zur Schädlingsbekämpfung zu rechnen.

Positive Auswirkungen sind durch die Reduktion der Kältewellen zu erwarten. Wenn Kälteperioden weniger intensiv sind oder weniger häufig auftreten, muss weniger Salz gestreut werden und die damit verbundenen Schäden an der Vegetation können reduziert werden.

5.6.2. Synthese Auswirkungsbereich Biodiversität und Grünflächen

Da städtische Ökosysteme vergleichsweise jung sind und da sie sich laufend verändern, sind in Städten vor allem anpassungsfähige Arten zu finden. Zudem sind im Siedlungsgebiet bereits heute vor allem trockenheits- und wärmeliebende Arten vorhanden. Daher ist davon auszugehen, dass sie sich diese Arten auch an die veränderten klimatischen Bedingungen relativ gut anpassen können. Da das Siedlungsgebiet immer wieder neugestaltet wird, besteht die Möglichkeit, gezielte Massnahmen zu treffen, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu erhalten.

Tendenziell negative Auswirkungen sind für kälteliebende Fischpopulationen sowie weitere Artengruppen in aquatischen Lebensräumen zu erwarten. Im Gegensatz zu anderen Ökosystemen, wo negative Auswirkungen durch einfache planerische und bauliche Massnahmen reduziert oder verhindert werden können, können in Gewässern, die von einer starken Erwärmung betroffen sind, keine einfachen Anpassungs- und Schutzmassnahmen getroffen werden. Daher ist die Vulnerabilität der städtischen Gewässer und Feuchtgebiete höher einzustufen als die von Grünflächen und Trockenstandorten. Bereits heute sind entlang der Gewässer nur noch wenige schützenswerte Standorte übrig geblieben und daher kommt dem Schutz dieser Standorte eine umso grössere Bedeutung zu.

Eine weitere Bedrohung der städtischen Ökosysteme stellt die Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten und die Massenvermehrung von Schadorganismen dar. Da die Arten untereinander in sehr komplexen Wechselwirkungen stehen und unterschiedlich anpassungsfähig sind, ist es schwierig, das Ausmass der erwarteten Entwicklung für einzelne Arten abzuschätzen. Da der urbane Raum zudem durch eine grosse Vielfalt an verschiedenen Lebensräumen charakterisiert ist, sind auch je nach Standort positive oder negative Veränderungen in der Artenvielfalt möglich. Daher ist eine gesamthafte Beurteilung der erwarteten Veränderungen sehr schwierig. Vor allem die Ausbreitung von gebietsfremden Arten ist stark durch anthropogene Faktoren wie der Ausbau von Transportwegen, den internationalen Handel und durch die Verkehrsflüsse beeinflusst. Daher ist davon auszugehen, dass die sozioökonomischen Entwicklungen weitaus grössere Auswirkungen haben werden, als die klimabedingten Veränderungen.

Gesamthaft ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen vor allem im Bereich der Gewässerökologie und im Bereich der Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten negativ sind. Die

Auswirkungen werden im Vergleich zu den anderen Auswirkungsbereichen beim Szenario schwach negativ eingeschätzt und beim Szenario stark sehr negativ.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind weitgehend in Übereinstimmung mit denen des Klimafolgenberichts des Kantons Basel-Stadt Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011). Die Bedrohung durch invasive gebietsfremde Arten und die Massenvermehrung von Schadorganismen wurde auch dort als zentrale Herausforderungen identifiziert. Der Kanton hat daher einen Massnahmenplan für den Umgang mit invasiven gebietsfremden Arten erstellt. Es wird mit einem finanziellen Mehraufwand von insgesamt mindestens CHF 500 000.- innerhalb von fünf Jahren gerechnet. Im Bereich der Grünflächen wird wie in der vorliegenden Studie ein zusätzlicher Pflege- und Bewässerungsaufwand erwartet (Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011).

Querbezüge zu anderen Auswirkungsbereichen

Die Biodiversität wird unter anderem auch stark durch geplante Klimaanpassungsmassnahmen in anderen Auswirkungsbereichen beeinflusst (Essel und Rabitsch 2013, SBS 2012). Beispielsweise ist bei einer Häufung von Hitzewellen und bei ansteigenden Mitteltemperaturen mit einem erhöhten Bedarf an Kühlwasser zu rechnen. Diese Intensivierung der Nutzung kann das Problem der steigenden Wassertemperaturen noch zusätzlich verschärfen. Weiter können bauliche Massnahmen im Bereich des Hochwasserschutzes als Anpassung an intensive Starkregenereignisse je nach Ausgestaltung stark negative oder positive Auswirkungen auf die Gewässerökologie haben.

5.6.3. Sozioökonomisches Szenario Biodiversität und Grünflächen um 2060

Biodiversität

Wichtige sozioökonomische Entwicklungen mit Auswirkungen auf die Biodiversität sind die erwartete Ausdehnung des urbanen Raumes sowie die Verdichtung im bestehenden Siedlungsgebiet, die zu einer zunehmenden Verinselung der bestehenden Ökosysteme führen. Negative Auswirkungen haben auch die monotone Ausgestaltung und intensive Bewirtschaftung von Grün- und Freiflächen. Auf die Biodiversität der umliegenden Flächen haben ausgedehnte Siedlungsgebiete tendenziell eher negative Effekte, da sie zu einer Zerstörung von Lebensräumen und Zerschneidung der Landschaft führen und somit den Austausch zwischen Populationen verhindern oder reduzieren. Dies hat eine Verringerung des Genpools und entsprechend eine Reduktion der Anpassungsfähigkeit der Arten zur Folge. Eine Vernetzung der Ökosysteme durch Korridore und Trittsteine ist im urbanen Raum deshalb besonders wichtig, da so das

Fortbestehen der Ökosysteme ermöglicht werden kann. Die erwartete Ausdehnung und Verdichtung der Siedlungsgebiete durch die Urbanisierung hat somit negative Auswirkungen auf die Biodiversität, sofern keine Massnahmen zur Vernetzung und zur Aufwertung der bestehenden Lebensräume getroffen werden. Im Kanton Basel-Stadt werden daher ein Biotopverbundkonzept und eine Revitalisierungsplanung erarbeitet, das Vernetzungskorridore zwischen den bestehenden Ökosystemen sichern und schaffen soll³². Es ist davon auszugehen, dass die sozioökonomischen Entwicklungen weitaus grössere Auswirkungen haben werden, als die klimabedingten Veränderungen.

Grünflächen

Grünflächen sind einerseits durch das Bevölkerungswachstum, das veränderte Freizeitverhalten und die Urbanisierung einem erhöhten Nutzungsdruck ausgesetzt. Andererseits steigt durch die Häufung und Intensivierung der Hitzeperioden der Bedarf an kühlen Erholungsgebieten im städtischen Raum. Da aufgrund der dichten Bebauung eine Erweiterung der Grünflächen nur begrenzt möglich ist, ist eine intensivere Nutzung der bestehenden Erholungsgebiete zu erwarten. Entsprechend ist in Parkanlagen und öffentlichen Gärten mit einem höheren Pflegeaufwand zu rechnen.

Charakteristisch für städtische Grünflächen ist die regelmässige Um- und Neugestaltung bedingt durch verschiedene Bautätigkeiten, Nutzungsdruck, verändertes Freizeitverhalten und Sanierungsbedarf. Im Rahmen von Bauprojekten werden häufig auch die Grünflächen umgestaltet und daher sind diese Anlagen im Vergleich zu natürlichen Ökosystemen einem raschen Wandel ausgesetzt. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel kann diese Umstrukturierung eine Chance sein, da bei der Neugestaltung die Anlagen so ausgestaltet werden können, dass sie qualitativ aufgewertet und damit auch besser an die veränderten klimatischen Bedingungen angepasst sind (Beispiel Erlenmattpark in Basel).

Da der Unterhalt der Grünflächen vor allem von der Intensität der Nutzung abhängt und da Grünanlagen im Rahmen von Umbauten und Sanierungen an bestehenden Gebäuden und Infrastrukturanlagen immer wieder neu gestaltet werden müssen, werden die Auswirkungen aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung deutlich höher eingeschätzt als die klimabedingten Auswirkungen.

³² <http://www.stadtgaertnerei.bs.ch/oekologische-verantwortung/lebensraeume/naturkorridore.html> (15.1.2015)

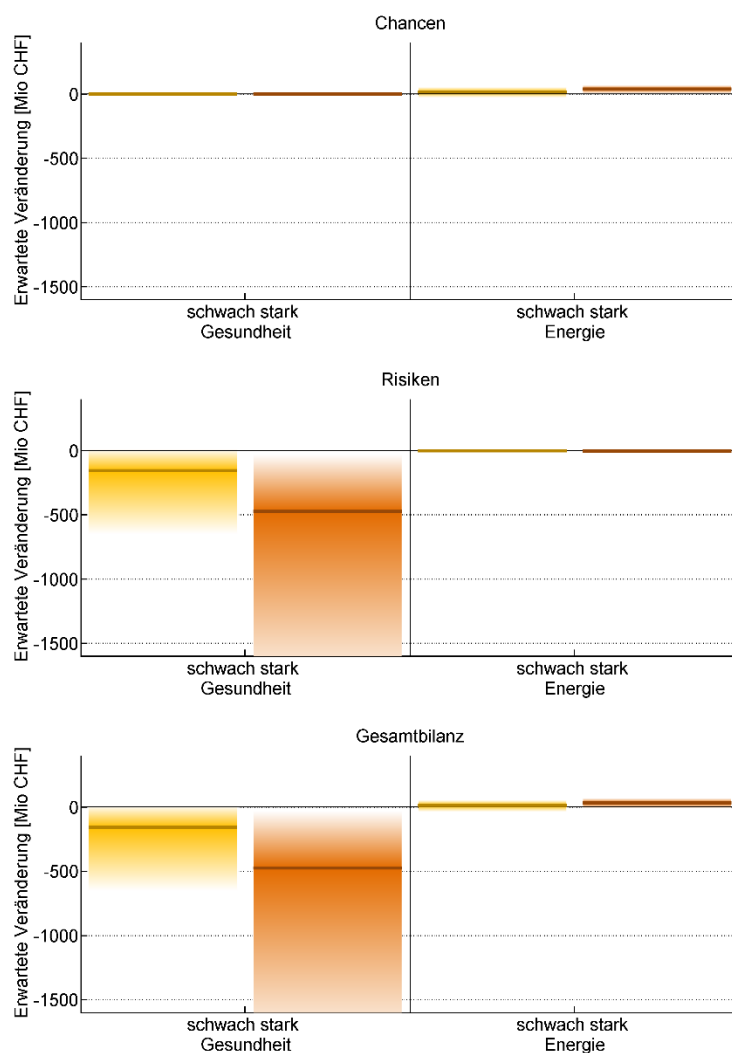
5.7. Überblick der Auswirkungen pro Wirkungsbereich

5.7.1. Quantitativ analysierte Auswirkungen

Für alle quantifizierten Auswirkungen wurden die Chancen und Risiken, die aufgrund der klimatischen Veränderungen zu erwarten sind, aus der Differenz zwischen den Klimaszenarien 2060 und der heutigen Situation berechnet (Abbildung 41). Grosse Risiken wurden vor allem für den Gesundheitsbereich identifiziert. Durch die erhöhte hitzebedingte Mortalität und die verminderte Arbeitsleistungsfähigkeit während Hitzeperioden ist mit deutlichen Mehraufwendungen zu rechnen. Weiter ist ein Anstieg des Energieverbrauchs im Bereich der Klimatisierung zu erwarten. Weitaus grösser sind jedoch die Auswirkungen auf den Heizenergieverbrauch, der durch die erwartete Abnahme der Heizgradtage deutlich sinken wird.

Es ist zu beachten, dass die Höhe der quantitativ geschätzten Risiken und Chancen mit sehr grossen Unsicherheiten verbunden sind. Die Zahlen sollten nicht direkt zum Nennwert genommen werden und müssen mit Vorsicht und im Wissen um die sehr grossen Unsicherheiten interpretiert werden. Die Schätzungen sollen in erster Linie eine transparente Diskussion und einen konsistenten Vergleich der Risiken und Chancen zwischen den verschiedenen Sektoren und Wirkungsbereichen erlauben.

Abbildung 41: Übersicht über die zu erwartenden mittleren jährlichen Risiken und Chancen um 2060



Dargestellt sind jeweils die klimabedingte Veränderung der jährlichen Erwartungswerte zwischen dem heutigen Klimaszenario und dem schwachen (gelb) resp. dem starken Klimaszenario (orange). Die Balken mit Farbverlauf stellen jeweils eine Abschätzung der Unschärfe dar. Die Auswirkungsbereiche Wasserwirtschaft und Biodiversität werden nur qualitativ bewertet.

5.7.2. Qualitativ analysierte Auswirkungen

Für die Auswirkungsbereiche mit quantitativ analysierten Auswirkungen werden die qualitativ untersuchten Aspekte in ihrer Grössenordnung quantifiziert. Für diese Abschätzung werden die qualitativ untersuchten Aspekte zu den quantifizierten Auswirkungen ins Verhältnis gesetzt. Sind sie „deutlich geringer“, fliessen sie mit 10% des quantifizierten Betrags in die Gesamtbilanz mit ein. Werden sie als „geringer“, „vergleichbar“ oder „grösser“ quantifiziert, erfolgt in der Gesamtbilanz ein Zuschlag von 33%, 100% respektive 300%. Qualitative Risiken und Chancen die in der Summe keine Änderung hervorrufen, werden entsprechend als „irrelevant“ eingestuft.

Die folgende Tabelle zeigt die Klassifizierung der qualitativen Auswirkungen für die verschiedenen Auswirkungsbereiche. Im Bereich Gesundheit wurden nur bei den Risiken qualitative Auswirkungen untersucht. Diese werden im Vergleich zu den quantifizierten Kosten bei beiden Szenarien als „deutlich geringer“ eingestuft. Im Auswirkungsbereich Energie werden die qualitativ analysierten Risiken im Bereich der Nutzung des Rheinwassers zu Kühlzwecken im Vergleich zu den für die Klimatisierung anfallenden Kosten als „deutlich grösser“ eingestuft.

Tabelle 21: Quantifizierung der qualitativen Gefahren und Effekte				
Auswirkungsbereiche	Chancen		Risiken	
	schwach	stark	schwach	stark
Gesundheit	-	-	10%	10%
Energie (Erzeugung/Verbrauch)	-	-	300%	300%

Einstufung der qualitativen Auswirkungen im Vergleich zu den quantitativen Auswirkungen („deutlich geringer“: 10%, „geringer“: 33%, „vergleichbar“: 100%, „grösser“: 300%).

Die qualitative Abschätzung der Auswirkungen fliesst mit diesen Faktoren in die Gesamtbeurteilung in der Synthese in Kapitel 1 ein. Für die Auswirkungsbereiche ohne quantifizierte Auswirkungen (Infrastruktur und Gebäude, Wasserwirtschaft, Biodiversität) erfolgt die Quantifizierung der Auswirkungen wie in Kapitel 1.2 beschrieben.

Literatur Kapitel 5

Literatur zum Auswirkungsbereich Gesundheit

- Analitis, et al. 2008:** Effects of Cold Weather on Mortality: Results From 15 European Cities Within the PHEWE Project. *American Journal of Epidemiology*, 168 (12):1397-1408.
- BAFU 2012:** Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Strategie des Bundesrates.
- BAG 2007:** Schutz bei Hitzewellen – Klimaänderung: Auswirkungen auf die Gesundheit. Bundesamt für Gesundheit - BAG und Bundesamt für Umwelt - BAFU.
- Basu, R., Samet, JM. 2002:** Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, Vol. 24:190-202.
- BFS 2013:** Bruttowertschöpfung nach Kantonen und Branchen. Bundesamt für Statistik.
- BFS 2010a:** Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010-2060. Bundesamt für Statistik - BFS, Neuchâtel.
- BFS 2010b:** Kantonale Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung – Altersstruktur der Kantone 2010 – 2035. Bundesamt für Statistik – BFS, Neuchâtel.
- Bux, K. 2006:** Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse - Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.
- Dear, et al. 2005:** Effects of Temperature and Ozone on Daily Mortality During the August 2003 Heat Wave in France. *Archives of Environmental & Occupational Health*, Vol. 60 (4):205-2012.
- Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Luterbach, J., Wanner, H. 2007:** Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, D15103.
- EBP/SLF/WSL 2013a:** Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz; Methodenbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL 2013b:** Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau; Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- EBP/SLF/WSL 2013c:** Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz, nicht-öffentliche Arbeitsdokumentation; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

- EBP/SLF/WSL 2013d:** Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau - Anhänge zum Ergebnisbericht; Ernst Basler + Partner AG, WSL, SLF; Bundesamt für Umwelt, Bern. (Version vom 15.8.2013)
- EKL 2004:** Sommersmog. Eidgenössische Expertenkommission für Lufthygiene – EKL.
[http://www.ekl.admin.ch/fileadmin/ekl-dateien/dokumentation/Sommersmog_D_2011-07-18.pdf] [15.01.2015]
- Ebting, J., Händel, F., Huggenberger, P. 2013:** Thermal management of an unconsolidated shallow urban groundwater body. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 1851–1869, 2013.
- Filleul, et al. 2008:** The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the heatwave 2003. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Berlin. Newsletter No. 41:2-9.
- Golder, E. 1991:** Die Wiese. Ein Fluss und seine Geschichte. Baudepartement Basel-Stadt Tiefbauamt.
- Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C. and Braun-Fahrländer C. 2005:** Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. Swiss Medical Weekly, 135, 200-205.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A. 2002:** Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. Journal of Epidemiology and Community Health, Vol. 56: 367-372.
- Höpflinger, F., Bayer-Oglesby, L., Zumbunn, A. 2011:** Pflegebedürftigkeit und Langzeitpflege im Alter. Aktualisierte Szenarien für die Schweiz. Bern.
- Höpflinger, F., Hugentobler, V. 2003:** Pflegebedürftigkeit in der Schweiz – Prognosen und Szenarien für das 21. Jahrhundert. Bern.
- INFRAS 2015:** Städtischer Wärmeinsel-Effekt – Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf. Infrass im Auftrag des Bundesamt für Umwelt - BAFU, 2015.
- INFRAS 2014:** Berechnungen der klimabedingten Risiken und Chancen im Auswirkungsbereich Gesundheit. Interne Arbeitsdokumentation.
- INFRAS/Egli Engineering 2015a:** Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf 2060. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU, 2015.
- INFRAS/Egli Engineering 2015b:** Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz – Regionale Fallstudie Kanton Uri. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt - BAFU, 2015.
- Jerrett et al. 2009:** Long-Term Ozone Exposure and Mortality. The New England Journal of Medicine; 360: 1085-1095.

- Junk, J., Helbig, A., Luers, J. 2003:** Urban climate and air quality in Trier Germany. International Journal of Biometeorology, Vol. 47.
- Kosatsky, T. 2005:** The European heat waves. Euro Suveill. Published online July 2005, 10(7).
- Kovats, R.S., Wolf, T., Menne, B. 2004a:** Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. Eurosurveillance Weekly 2004, 8(11).
- Kovats, R.S., Edwards, S.J., Hajat, S., Armstrong, B.G., Ebi, K.L., Menne, B., et al. 2004b:** The effect on temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. Epidemiology and Infection, Vol. 132 (03): 443-453.
- Meyer, K., Simmet, A., Mattle, H.P., Arnold, M. 2008:** Herz-Kreislauf-Krankheiten (Koronare Herzerkrankung und Hirnschlag). Aus Meyer, K.: Gesundheit in der Schweiz. Nationaler Gesundheitsbericht 2008: 153-169.
- Michelozzi et al. 2009:** High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 179:383-389.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft: Baden-Württemberg 2012:** Klimawandel in Baden-Württemberg – Fakten – Folgen – Perspektiven. 2. aktualisierte Auflage: März 2012.
- Occc 2007:** Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern.
- Occc/SCNAT 2005:** Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. OccC/SCNAT, ProClim – Forum for Climate and Global Change, Platform of the Swiss Academy of Sciences, Bern.
- Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A. 2005:** Impact of regional climate change on human health. Nature Reviews, Vol. 438/17: 310-317.
- Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011:** Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt –Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt.
- Robine et al. 2007:** Report on excess mortality in Europe during summer 2003.
- Schweiz am Sonntag 2012:** Wegen hohem Altersdurchschnitt droht Region Basel Ärztemangel. Schweiz am Sonntag vom 04.11.12.
- Seematter-Bagnoud, L., Junod, J., Jaccard Ruedin, H., Roth, M., Foletti, C., Santos-Eggimann, B. 2008:** Offre et recours aux soins médicaux ambulatoires en Suisse – Projections à l’horizon 2030 (OBSAN Document de travail 33). Neuchâtel.
- Statistisches Amt des Kantons Basel Stadt 2014:** Statistischer Atlas Basel-Stadt, 2014.
[<http://www.statistik-bs.ch/tabellen/t01/1>] [15.01.2015]
- Statistik Stadt Zürich 2004:** Sommerhitze und Alterssterblichkeit. INFO 2/2004. Amt für Statistik der Stadt Zürich, nicht veröffentlichte Auswertung zum Hitzesommer 2003.

Swissre 2014: Sigma 1/2014 – Natural catastrophes and man-made disasters 2013: large losses from floods and hail; Haiyan hits the Philippines, 2014.

The World Bank 2014: Turn Down the Heat – Why a 4°C Warmer World Must be Avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics, November 2012.

Thommen, O., Braun-Fahrlander, C. 2004: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG).

UNEP 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. 2nd issue of Early Warning on Emerging Environmental Threats. United Nations Environment Programme (UNEP) – United Nations Environment Programme.

WWF 2007: Kosten des Klimawandels – Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Aktualisierte Fassung vom Juli 2007. Institut für Weltwirtschaft Kiel im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt.

Literatur zum Auswirkungsbereich Energie

- Brunner et al. 2007:** Conrad U. Brunner, Urs Steinemann, Jürg Nipkow, Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfS), 2007
- BS 2014:** Energiestatistik des Kantons Basel-Stadt des Jahres 2010/2012, AUE, 2014
- BS 2013:** Legislaturplan 2013-2017, Regierungsrat des Kantons Basel Stadt, 2013
- BS 2011:** Endbericht, Energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt Studie im Auftrag des Kantons Basel-Stadt 2009 – 2011, EKP Energie-Klima-Plan GmbH, Fachhochschule Nordhausen, Universität Liechtenstein, seecon gmbh im Auftrag des Kantons Basel-Stadt (BS), Basel 2011
- Ecofys 2011 :** Kjell Bettgenhäuser, Thomas Boermans, Markus Offermann, Anja Krechting, Daniel Becker, Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung, Ecofys Germany GmbH, Köln im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), 2011
- Epting, J., Händel, F., Huggenberger, P. 2013:** Thermal management of an unconsolidated shallow urban groundwater body. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 1851–1869, doi:10.5194/hess-17-1851-2013.
- Epting, J., Huggenberger, P. 2013:** Unraveling the heat island effect observed in urban groundwater bodies – Definition of a potential natural state. Journal of Hydrology 501 (2013) 193–204.
- Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. and Volken, D. 2010:** Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project, CHR report, I-23, 229 pp., Lelystad, ISBN 978-90-70980-35-1.
- INFRAS/Egli Engineering 2015a:** Klima, Gefahren und Effekte – Herleitung für die Agglomerationsfallstudien. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf 2060. INFRAS und Egli Engineering AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt – BAFU, 2015.
- Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011:** Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.
- Kirchner und Matthes et al. 2009:** Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Eine Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Basel/Freiburg, Prognos AG, Ökoinstitut, 495
- Prognos 2012:** Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050, Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem. Prognos AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Basel 2012

Prognos/Infras/TEP 2013: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2012 nach Verwendungszwecken, Prognos AG, Infras AG, TEP Energy GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE). 2013.

Literatur zum Auswirkungsbereich Infrastrukturen und Gebäude

Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt 2014: Daten zu Hagel-, Sturm- und Überschwemmungsschäden der Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt per Mail von M. Matter am 12.8.2014 per Mail erhalten.

OcCC / ProClim 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. 172 S., OcCC / ProClim, Bern.

Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011: Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.

Literatur zum Auswirkungsbereich Wasserwirtschaft

GEP 2012: Genereller Entwässerungsplan (GEP), Entwässerungskonzept. Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt. Version vom 18.9.2012.

IWB 2010: Die Trinkwasserversorgung von Basel. Präsentation an der Brunnenmeistertagung vom 15.10.2010 durch Thomas Meier (Leiter Produktion Wasser).

Rajczak, J., Pall, P. and Schär C. 2013: Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, 1-17.

Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011: Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.

Rüetschi, D. 2004: Basler Trinkwassergewinnung in den Langen Erlen. Biologische Reinigungsleistungen in den bewaldeten Wasserstellen. Dissertation an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, S. 448, Basel.

Literatur zum Auswirkungsbereich Biodiversität und Grünflächen

- BAFU 2012a:** Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz- Ziele Herausforderungen und Handlungsfelder, Erster Teil der Strategie des Bundesrates, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, 2012
- BAFU 2012b:** Strategie Biodiversität Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU), UD-1060-D, Bern 2012
- BAFU 2009:** Zustand der Biodiversität in der Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2009
- BUWAL 2004:** Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer, Schriftenreihe Umwelt N3. 369, Herausgegeben vom BUWAL, Bern 2004
- Ewald et al. 1985:** Blattner M., Ritter M., Ewald K.C., Basler Natur Atlas, Basler Naturschutz, Band I-III, Sektion des Schweizerischen Bundes für Naturschutz, 1985
- Baudepartement des Kantons Basel-Stadt 2004:** Freiraumkonzept Basel, Auftraggeber: Baudepartement des Kantons Basel-Stadt, 2004
- BUWAL 2005:** Wirbellose Neozoen im Hochrhein - Ausbreitung und ökologische Bedeutung, Schriftenreihe Umwelt Nr. 380, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern, 2005
- Econcept 2013:** Klimawandel im Grossraum Zürich: Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen, Wissenschaftlichen Grundlagen – Schlussbericht, Wissenschaftsforum ZKB, Oktober 2013
- Essel und Rabitsch 2013:** Essl F., Rabitsch W. (Hrsg.); Biodiversität und Klimawandel; Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa; ISBN 978-3-642-29691-8; Springer Berlin Heidelberg 2013
- Kozlowski 2003:** Städte als Hotspot der Biodiversität am Beispiel Fribourg, Hotspot-Biodiversität im Siedlungsraum , Oktober 2003
- Lachat et al. 2010:** Lachat, T., Pauli D., Gonseth Y., Klaus G., Scheidegger Ch., Vittoz P., Walter Th., Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1990, Ist die Talsohle erreicht? Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 435 S.
- Life Science AG 2006:** Küry S. Heller M., Ökologische Wirkungskontrolle der Kiesschüttungen an den Basler Rheinufern, Life Science AG im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Februar 2006.
- Life Science AG 2005:** Küry S. Heller M., Fischfauna St. Alban-Teich: Bewertung nach dem Modulstufenkonzept Fische Stufe F, Life Science AG im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Dezember 2005.

- Naturinventar 2011:** Reisner Y., Unbekannte Schätze vor der Haustür – Ergebnisse des Naturinventars im Kanton Basel-Stadt Schlussbericht zum Inventar der schutzwürdigen Naturobjekte im Kanton Basel-Stadt, Herausgeber: Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt, Stadtgärtnerei, Basel, Oktober 2011
- Nobis et al 2009:** Nobis MP, Jaeger JAG, Zimmermann NE: Neophyte species richness at the landscape scale under urban sprawl and climate warming. *Diversity and Distributions* 15 (6): 928-939.
- Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2012:** Basisratschlag zur Zonenplanrevision, Teil 1: Übersicht und raumplanerische Gesamtschau
- Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt 2011:** Bericht über die Folgen des Klimawandels im Kanton Basel-Stadt – Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf aufgrund der Klimaänderung in Basel-Stadt, 118 S.
- Schager und Peter 2004:** Schager E., Peter A., Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer – Fische Stufe F, EAWAG, im Auftrag des BUWAL, 2004
- WFN 2012:** Breitenstein M., Kirchhofer A., Erfolgskontrolle Revitalisierung Wiese - Ausgangszustand 2010: Mündung bis Freiburgerbrücke – Fischfauna und Gewässermorphologie; Wasser Fisch Natur WFN; im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, 2012
- WFN 2010:** Breitenstein M., Kirchhofer A., Erfolgskontrolle BirsVital, Untersuchung 2010, Fischfauna und Gewässermorphologie ; Wasser Fisch Natur WFN; im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, 2012
- WFN 2005:** Breitenstein M., Kirchhofer A., Beurteilung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Fliessgewässer der Wiese-Ebene - MSK Fische Stufe F; Wasser Fisch Natur WFN; Bericht im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel Stadt; Dezember 2005

Anhang

Ansatz zur Aggregation der Unschärfen

Die Grenzen des Unsicherheitsintervalls werden folgendermassen ermittelt. Durch Multiplikation des jährlichen Erwartungswerts (E) mit der geschätzten Unsicherheit (f) wird das Unsicherheitsintervall ermittelt und gemäss Tabelle 2 wird das Intervall einer Unschärfeklasse zugeordnet. Um die Berechnung der resultierenden Unschärfen transparent und nachvollziehbar herzuleiten, werden die Unsicherheiten nicht mehr auf Ebene der heutigen Szenarien und auf Ebene der erwarteten Veränderungen klassifiziert. Das heisst für den Erwartungswert heute und für die erwartete Veränderung werden die tatsächlich geschätzten Unsicherheiten berücksichtigt. Erst die so berechneten Unsicherheiten der Auswirkungen pro Auswirkungsbereich und pro Gefahr/Effekt, der Gesamtbilanz sowie der Veränderungen werden dann im Bericht gemäss Tabelle 2 in klassifizierter Form dargestellt. Damit können kleine Artefakte, welche aus der Kategorisierung der Unschärfen auf tiefer Ebene entstehen, vermindert werden.

Beispiel: Der Erwartungswert E_G der Gefahr G beträgt 3 Mio. CHF und hat eine Unsicherheit von 40% ($f_{G,max}$) und die erwartete Veränderung V der Mitteltemperatur beträgt 20% und hat eine Unsicherheit von 10% ($f_{V,max}$):

$$\max(U_{G,S}) = E_G \cdot f_{G,max} \cdot V \cdot f_{V,max}$$

$$\max(U_{G,S}) = 3 \text{ Mio CHF} \cdot 1.4 \cdot 1.2 \cdot 1.1 = 5.5 \text{ Mio CHF}$$

G : Gefahr/Effekt

U : Unsicherheitsintervall

E : Erwartungswert

S : Klimaszenario *schwach, stark, heutige Situation*

Dies führt gesamthaft zu einer oberen Grenze der Unsicherheit von 1.50 (oder 50%), was Unschärfekategorie 2 entspricht.

Für jeden Auswirkungsbereich (A) wird die Unsicherheit (U) der über alle Gefahren und Effekte aggregierten Kosten und Erträge für die heutige Situation, sowie für die beiden Klimaszenarien

berechnet. Die Grenzen des Unsicherheitsintervalls ($U_{A,S,max}$ und $U_{A,S,min}$) werden berechnet, indem das Maximum, respektive das Minimum des Unsicherheitsintervalls der einzelnen Gefahren und Effekte eines Szenarios (S) aufsummiert werden.

Obere Grenze des Unsicherheitsintervalls pro Auswirkungsbereich:

$$U_{A,S,max} = \sum_{G \in A} \max(U_{G,S})$$

S : Klimaszenario *schwach*, *stark*, heutige Situation

A : Auswirkungsbereich

Untere Grenze des Unsicherheitsintervalls pro Auswirkungsbereich:

$$U_{A,S,min} = \sum_{G \in A} \min(U_{G,S})$$

Analog zu den einzelnen Gefahren und Effekte wird das Unsicherheitsintervall als Unschärfebereich klassifiziert.

Aggregation der Unschärfen der Veränderungen

In der Synthese in Kapitel 1 werden nicht wie in den vorherigen Kapiteln die absoluten Grössen der betrachteten Risiken und Chancen betrachtet, sondern es wird die Differenz der Erwartungswerte zwischen dem Klimaszenario S (*schwach* resp. *stark*) und dem Zustand *heute* gebildet, und damit die erwartete Veränderung (V) der Grössen dargestellt:

$$V_S = E_S - E_{heute}$$

Der Unschärfebereich der erwarteten Veränderungen (U_V) wird folgendermassen abgeschätzt:

Die untere Grenze des Unschärfebereichs der Veränderung wird über die Differenz zwischen der unteren Grenze des aggregierten Unsicherheitsintervalls des jeweiligen Klimaszenarios im Vergleich zum heutigen Erwartungswert ermittelt.

Untere Grenze des Unsicherheitsintervalls der Veränderung ($U_{V,min}$):

$$U_{V,S,min} = U_{A,S,min} - E_{heute}$$

Die Berechnung der oberen Grenze des Unsicherheitsintervalls erfolgt analog. Obere Grenze des Unsicherheitsintervalls der Veränderung ($U_{V,max}$):

$$U_{V,S,max} = U_{A,S,max} - E_{heute}$$

Das daraus resultierende Unsicherheitsintervall basiert auf der vereinfachenden Annahme, dass die Unsicherheit des heutigen Erwartungswerts im Vergleich zum Erwartungswert im Klimaszenario klein ist.

Korrelationen zwischen den einzelnen Gefahren und Effekten werden nicht explizit berücksichtigt. Die Untergrenze des Unsicherheitsintervalls stellt die Situation dar, in der die maximal erwarteten Risiken und die minimal erwarteten Chancen durch die verschiedenen Gefahren/Effekte in einem Auswirkungsbereich gleichzeitig eintreffen („worst case“ Szenario). Die Obergrenze des Unsicherheitsintervalls stellt entsprechend die Situation dar, in der bei allen Gefahren/Effekten minimal erwartete Risiken und maximal erwartete Chancen gleichzeitig eintreffen („best case“ Szenario). Diese Grenzen stellen somit die maximal möglichen Chancen und Risiken dar, welche jedoch nur eine geringe Eintretenswahrscheinlichkeit haben.