

The Costs of Inaction

Studienbericht

Frank Krysiak, Joëlle Velvart

Universität Basel

Februar 2023

Executive Summary

Klimawandel verursacht Kosten. Die Höhe dieser Kosten hängt davon ab, wie weit es gelingt, den Klimawandel zu begrenzen und welche Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel getroffen werden. Erste Effekte des Klimawandels sind bereits heute beobachtbar, das wirkliche Ausmass der Kosten wird aber erst in einigen Jahrzehnten offenbar werden. Sowohl für die Begrenzung des Klimawandels als auch für die Anpassung an nicht mehr vermeidbare Klimaänderungen müssen aber wichtige Entscheidungen bereits heute und in den kommenden Jahren getroffen werden. Hierfür kann eine Einschätzung der Kosten des Klimawandels und des Potentials von Adaptationsmassnahmen zur Reduktion dieser Kosten hilfreich sein.

Die vorliegende Studie liefert für den Kanton Basel-Stadt eine solche Einschätzung, allerdings nur exemplarisch an einigen wenigen Klimafolgen, welche in früheren Studien als potentiell besonders wichtig für den Kanton eingeschätzt wurden. Die Angaben sind daher als Indikatoren für die Bedeutung von Klimawandel sowie die Nützlichkeit von Adaptationsmassnahmen zu sehen, nicht als Abschätzung der Gesamtkosten oder des Gesamtnutzens von Massnahmen. Dies ist insbesondere wichtig, da Klimafolgen wie verstärkte Migration, Ressourcenkonflikte und dauerhafte Preisverschiebungen an internationalen Märkten zwar wahrscheinlich äusserst wichtig aber heute wissenschaftlich nicht quantifizierbar sind.

Trotzdem liefern die Ergebnisse einige möglicherweise bedeutsame Einsichten. Es wurden Klimafolgen für die Bereiche Gesundheit (erhöhte Mortalität und verringerte Arbeitsproduktivität durch Hitzetage), Energie (Veränderung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs) und Gebäudeschäden durch Hochwasserereignisse betrachtet. Für die Gebäudeschäden wurde dabei auf eine detaillierte Studie des BVD zurückgegriffen, die anderen Klimafolgen wurden mit eigenen Berechnungen basierend auf Informationen aus Fachstudien erfasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Bereich Gesundheit durchaus relevante Kosten anfallen dürften, vornehmlich im Bereich erhöhter Mortalität durch Hitzetage aber – in etwas schwächerer Ausprägung – auch im Bereich der Arbeitsproduktivität im zweiten Wirtschaftssektor. Anpassungsmassnahmen können diese Kosten erheblich reduzieren; eine vollständige Vermeidung scheint aber nicht möglich. Eine wichtige Einsicht der Studie ist, dass sich zwar die Mortalität insbesondere bei älteren Menschen (>75 Jahre) erhöht, die überwiegenden Kosten erhöhter Mortalität aber aufgrund der höheren Zahl an verlorenen Lebensjahren eher bei jüngeren Menschen anfallen. Adaptationsmassnahmen, die auf eine Senkung der Mortalität älterer Menschen zielen, haben daher möglicherweise nur geringe Wirkung auf die Kosten.

Ein zweites wichtiges Ergebnis ist, dass sich zwar die Kosteneinsparungen durch weniger Heizenergiebedarf und die Kosten des erhöhten Kühlbedarfs weitgehend ausgleichen, Adaptationsmassnahmen zur besseren Isolation der Gebäude aber trotzdem wertvoll sein können. Dies gilt umsomehr, als die Energiekosten im Kanton insgesamt erheblich sind und sich damit auch gute Einsparpotentiale (unabhängig vom Klimawandel) ergeben. Diese Massnahmen tragen gleichzeitig zu einer Senkung von Treibhausgasemissionen und zu einer Begrenzung des Klimawandels bei.

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einleitung.....	4
1.1 Ausgangslage und Auftrag	4
1.2 Bisherige Studien zu Klimafolgen für den Kanton Basel-Stadt.....	5
1.3 Vorgehen und Datenbasis	6
Datenbasis: Klimaszenarien.....	6
Datenbasis: Demographische Entwicklung	9
Datenbasis: Bereich Gesundheit.....	10
Datenbasis: Bereich Energie.....	10
Datenbasis: Bereich Gebäude und Infrastruktur.....	10
2. Ergebnisse: Klimafolgekosten.....	10
2.1 Bereich Gesundheit: Mortalität durch Hitzebelastung	10
2.2 Bereich Gesundheit: Verringerte Arbeitsproduktivität durch Hitzetage.....	12
2.3 Bereich Energie.....	14
2.4 Bereich Gebäude und Infrastruktur.....	16
3. Klimafolgekosten mit Adaptationsmassnahmen	16
3.1 Bereich Gesundheit.....	17
3.2 Bereich Energie.....	18
3.3 Bereich Gebäude und Infrastruktur.....	19
4. Zeitliche Zuordnung der Kosten	19
5. Kostenvergleich	21
Anhang.....	26
A.1 Vorgehensweise	26
Bereich Gesundheit.....	26
Bereich Energie	27
A.2 Tabellen.....	30
Literaturverzeichnis	34

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Der Klimawandel wird durch extreme Wetterereignisse, Hitzewellen und Trockenperioden sowohl für den Kanton als auch für die Wirtschaft und die Bevölkerung in Basel-Stadt lokale Auswirkungen haben. Laut Berichten des Regierungsrats des Kantons Basel-Stadt (2011, 2021) sind verschiedene Bereiche betroffen. Klimatische Veränderungen werden im Sektor Umwelt das Stadtklima, die Biodiversität und den Wald beeinflussen. Im Sektor Wirtschaft werden die Wasserversorgung, die Rheinschifffahrt und die Landwirtschaft durch Klimaerwärmung und Veränderungen im Niederschlag gefordert sein. Gebäude und Infrastruktur werden Auswirkungen von Unwetter (z.B. Hagelschlag, Sturm) und Hochwasser erfahren. Schliesslich wird die Gesundheit der Bevölkerung durch Hitzewellen und Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Luftqualität belastet sein.

Im Februar 2019 rief der Grosse Rat den Klimanotstand aus und legte damit fest, den Klimaschutz als Priorität zu behandeln. Die Spezialkommission Klimaschutz hat im Anschluss an den Klimabericht des Regierungsrats einen Bericht über Massnahmen und Empfehlungen verfasst, welcher primär die Unterstützung klimafreundlicher Innovationen, vorbildliche kantonale Immobilieninvestments, Unterstützungen zur Energieeffizienzsteigerung von Unternehmen und den Ersatz fossiler Heizungssysteme fordert. Für die Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses solcher und anderer Massnahmen ist es jedoch nötig, die Kosten des Klimawandels mit und ohne Anpassungs-/Mitigationsmassnahmen abzuschätzen («cost of inaction»). Solche Kostenschätzungen sind für Basel-Stadt bis jetzt nicht verfügbar. Die vorliegende Studie liefert hier exemplarisch an einigen für den Kanton besonders relevanten Klimafolgen eine erste Einschätzung.

Dabei werden die Kosten ohne Anpassungsmassnahmen in einem Szenario mit begrenztem und einem Szenario mit ausgeprägtem Klimawandel für drei Themenfelder (Gesundheit, Energie, Schäden an Gebäuden durch Überflutung) abgeschätzt. Zudem wird für das Szenario des ausgeprägten Klimawandels bestimmt, in welchem Umfang sich die Kosten durch Anpassungsmassnahmen reduzieren lassen.

Als Szenarien werden dabei RCP 2.6 (begrenzter Klimawandel) und RCP 8.5 (ausgeprägter Klimawandel) verwendet. Auf der Basis dieser Szenarien liefert die Studie Einschätzungen zu folgenden Fragestellungen:

- Welche Folgen hat der Klimawandel in den beiden Szenarien für den Kanton Basel-Stadt, d.h. die Unternehmen, Private und den Kanton in den Bereichen Gesundheit (erhöhte Mortalität und reduzierte Produktivität durch Hitzetage), Energie (Änderungen im Heiz- und Kühlenergiebedarf für Büro und Wohnflächen), Gebäude (Schäden durch Flutereignisse)?
- Mit welchen Kosten muss in diesen Szenarien gerechnet werden (für die Unternehmen, Private und den Kantonshaushalt)?
- In welchem Verhältnis stehen die «Costs of inaction» der beiden Szenarien?
- Inwiefern sind Kostenreduktionen durch Mitigations- oder Adaptationsmassnahmen im Szenario mit ausgeprägtem Klimawandel möglich?

Die Studie setzt dabei nicht auf eine eigene Modellierung oder Datenerhebung, da dies in dem relativ engen Zeitrahmen (3 Monate) nicht möglich ist. Stattdessen werden auf der Basis vorhandener Studien und Daten Berechnungen durchgeführt, wo dies möglich und sinnvoll ist (Bereiche Gesundheit und Energie), respektive Ergebnisse aus bereits vorhandenen Studien aufgenommen (Bereich Gebäude und Infrastruktur), wo eine eigene Berechnung keinen Mehrwert versprechen würde.

In beiden Fällen werden die Ergebnisse in den Kontext früherer vom Kanton beauftragter Studien eingeordnet.

Die Ergebnisse werden, wo dies angemessen erscheint, sowohl in Form von Klimafolgen (z.B. hitzebedingte Todesfälle) als auch in Form von Kosten (z.B. Wert verlorener Lebensjahre) dargestellt. Soweit dies möglich ist, werden die Kosten anhand der Kostenkategorien verschiedenen Akteuren (Private, Unternehmen, Kanton) zugeordnet.

1.2 Bisherige Studien zu Klimafolgen für den Kanton Basel-Stadt

Der Regierungsrat hat 2011 über die Klimafolgen für den Kanton Basel-Stadt bis im Jahr 2050 berichtet und dabei Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf identifiziert (Regierungsrat, 2011). Es wurden die CH2050-Klimaszenarien des OcCC verwendet und Klimafolgen in unterschiedlichen Sektoren analysiert. Dabei wurden bereits signifikante Kosten durch Folgen des Klimawandels in den Bereichen Gebäude und Infrastruktur, Trinkwasser und Rheinschifffahrt festgehalten und mit prioritärem Handlungsbedarf klassifiziert. Zudem wird ein Überblick über Klimafolgen in jedem Sektor gegeben, auch wenn diese gering ausfallen.

Infras (2015) hat in einer umfangreichen Studie Risiken und Chancen des Klimawandels für den Kanton Basel-Stadt mit quantitativen und qualitativen Kosteneinschätzungen aufgezeigt. Sie weist auf das Potential für hohe Kosten in den Bereichen Gesundheit, Energie und Gebäude/Infrastruktur hin. Im Bereich Gesundheit werden die hitzebedingte Mortalität und Arbeitsproduktivitätsverluste analysiert unter Berücksichtigung des Wärmeinseleffekts. Die Kosteneinschätzungen in diesem Bereich werden als hoch eingestuft. Im Energiebereich werden die Kosten durch ansteigenden Kühlenergiebedarf als mässig eingestuft und positive Effekte von Kosteneinsparungen durch gesenkten Heizenergiebedarf hervorgehoben. Die möglichen Kosten im Bereich Gebäude und Infrastruktur werden als hoch eingeschätzt, jedoch ist der Einfluss des Klimawandels auf die Eintreffwahrscheinlichkeit schwierig einzuschätzen. Nebst diesen drei Bereichen werden auch noch die Bereiche Wasserwirtschaft und Biodiversität abgedeckt. Zudem werden nicht nur quantifizierbare Kosten eingeordnet, sondern auch qualitative Einschätzungen vorgenommen, wo eine Quantifizierung nicht möglich ist, um Klimafolgen möglichst breit abzudecken.

Diese Studie liefert damit eine sehr gute Grundlage für die vorliegende Arbeit. Sie gibt zudem eine detaillierte Einschätzung der Unsicherheiten in den unterschiedlichen Berechnungsansätzen. Allerdings basiert die Studie noch auf den 2015 verfügbaren älteren Klimaszenarien (CH2011) und berücksichtigt keine Adaptationsmassnahmen.

In einem weiteren Bericht des Regierungsrats wurde die Anpassung an klimatische Veränderungen in den vier Sektoren Umwelt, Gesundheit, Wirtschaft und Gebäude und Infrastruktur behandelt (Regierungsrat, 2021). Für diese Einschätzung wurden bereits die Klimaszenarien CH2018 verwendet, welche auch in dieser Arbeit als Grundlage dienen. Massnahmen richten sich unter anderem an die Bereiche Gesundheit aufgrund der Hitzebelastung, Gebäude und Infrastruktur aufgrund von Hochwasser, Hagel und Sturm, sowie die Bereiche Biodiversität und Wald im Sektor Umwelt. Zudem wird im Bereich Energie die zusätzliche Kühlenergienutzung und im Wirtschaftssektor die beeinträchtigte Arbeitsproduktivität während Hitzeperioden genannt.

Als Massnahmen gegen die Hitzebelastung werden vor allem Information und Prävention genannt, wie auch die Verminderung des Wärmeinseleffekts mittels Durchlüftung und einer verbesserten Stadtgestaltung (Begrünung, geschützte Freiräume). Massnahmen zur

Verbesserung der Arbeitsbedingungen bei Hitze werden gemäss Regierungsrat (2021) vorerst auf Bundesebene geplant. Im Bereich Gebäude und Infrastruktur werden gewässerspezifische Massnahmen definiert, um das Hochwasserrisiko zu senken. Für die Kostenfolgen durch Sturm werden vorerst keine Massnahmen beschrieben und im Falle von Hagel Verbesserungen in der Bauweise vorgeschlagen. Im Bereich Energie sieht der Regierungsrat (2021) eine Beschränkung des Klimatisierungsgrades durch Bewilligungspflichten vor, um eine übermässige Zunahme des Kühlenergiebedarfs zu verhindern. Zusätzlich sollen bauliche Vorschriften dazu führen, dass Gebäude genügend Hitzeschutz bieten und allfällige Kühlanlagen energietechnisch effizient sind.

1.3 Vorgehen und Datenbasis

Für unsere Untersuchung der Klimafolgekosten stützen wir uns grösstenteils auf bisherige Literatur, da eine eigene Modellierung im Rahmen dieses Projekts nicht möglich ist. In einem ersten Schritt definieren wir die Klimaszenarien, welche untersucht werden, und leiten die geschätzten Klimafolgen aus bisherigen Studien ab. Dabei unterscheiden wir zwei Szenarien: zum einen ein Szenario mit gebremstem Klimawandel auf 1.5° Celsius Erwärmung, zum anderen ein Szenario mit stärkerem Klimawandel auf über 2° Celsius Erwärmung.

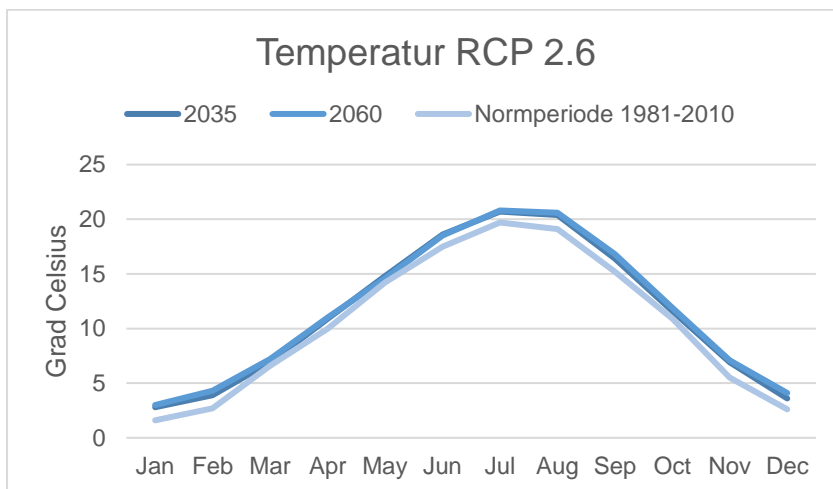
In einem nächsten Schritt werden die Mehrkosten, welche in diesen Szenarien und in diesen Bereichen entstehen, evaluiert. Dabei unterscheiden wir im Szenario des stärkeren Klimawandels eine Variante ohne Anpassungsmassnahmen und eine mit.

Aufgrund der Verfügbarkeit von Daten und anderen verlässlichen Studien beschränken wir uns auf Klimafolgen, bei welchen substantielle Auswirkungen auf Basel-Stadt zu erwarten sind und für welche eine hinreichende Datenbasis vorliegt. Dazu zählen die Gesundheit, Gebäude und Infrastruktur und Veränderungen im Energiebereich. Die Klimafolgen in diesen Bereichen wurden auch in bisherigen Studien (siehe z.B. Infrac und Egli Engineering, 2015) als am substantiellsten eingeschätzt.

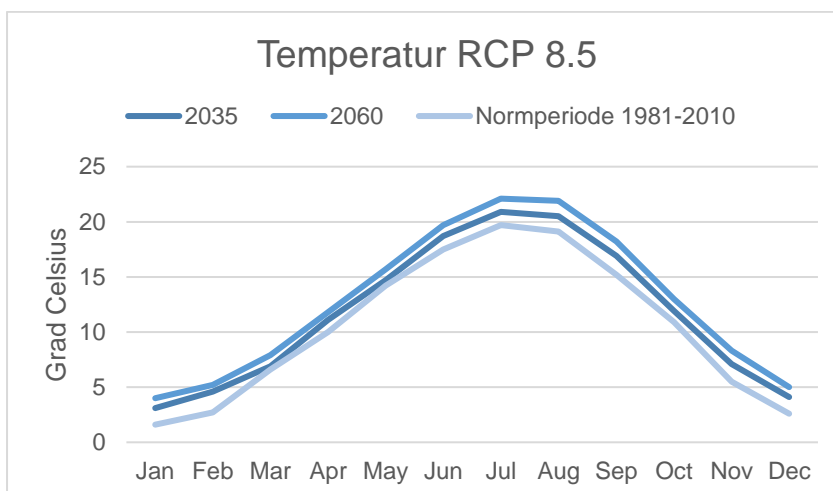
Datenbasis: Klimaszenarien

In unserer Analyse unterscheiden wir zwei Klimaszenarien und stützen uns dabei auf die Schweizer Klimaszenarien CH2018, welche vom Schweizer National Centre for Climate Services (NCCS) modelliert werden. In einem Szenario kann der Klimawandel beschränkt werden, im zweiten gehen wir von starkem Klimawandel aus. Für den beschränkten Klimawandel betrachten wir das Szenario RCP 2.6, wobei die Temperaturabweichung gegenüber der Normperiode (1981-2010) im Kanton Basel-Stadt bis 2060 +2° Celsius übersteigen wird. Starker Klimawandel wird im Szenario RCP 8.5 betrachtet, wo die Temperaturabweichung bis 2060 +4° Celsius erreichen kann.

Grafik 1: Jahresverlauf der Temperatur an der Station Basel-Binningen im Klimaszenario RCP 2.6 gegenüber der Normperiode 1981-2010. Datenquelle: CH2018 MeteoSchweiz

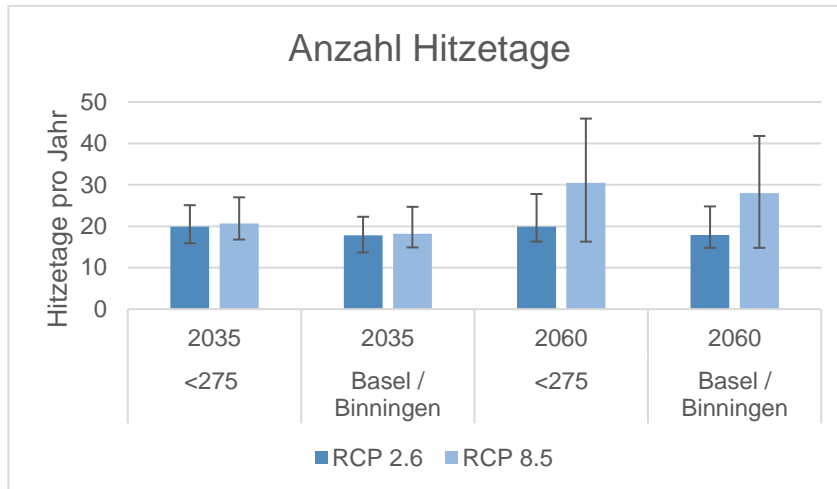


Grafik 2: Jahresverlauf der Temperatur an der Station Basel-Binningen im Klimaszenario RCP 8.5 gegenüber der Normperiode 1981-2010. Datenquelle: CH2018 MeteoSchweiz



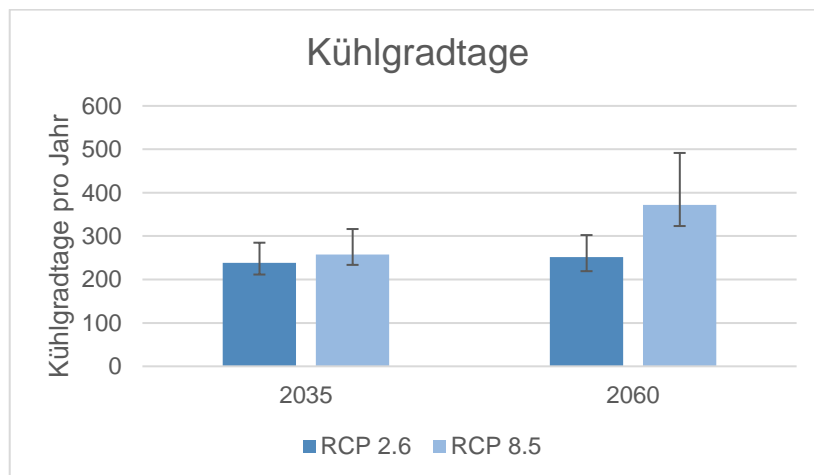
Durch den Klimawandel sind Veränderungen in der Temperatur, in Hitzeperioden, im Niederschlag und in Gewitterereignisse in den zwei betrachteten Klimaszenarien unterschiedlich stark ausgeprägt. Bezüglich den Klimaindikatoren, welche für die Einschätzung der Klimafolgekosten benötigt werden, verwenden wir Daten des NCCS. Diese sind für den Kanton Basel-Stadt für die Station Basel-Binningen verfügbar. Um den urbanen Wärmeinseleffekt (WIE) berücksichtigen zu können, verwenden wir zusätzlich Daten, welche für den Kanton Basel-Stadt nach Höhenmeter unterteilt sind. Die Klimaindikatoren berechnet für die tiefste Höhenlage (bis 275m) dienen dabei der Abbildung des WIE.

Grafik 3: Anzahl Hitzetage in den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5 auf unter 275 Höhenmeter und an der Station Basel-Binningen mit Konfidenzintervall. Datenquelle: CH2018 MeteoSchweiz



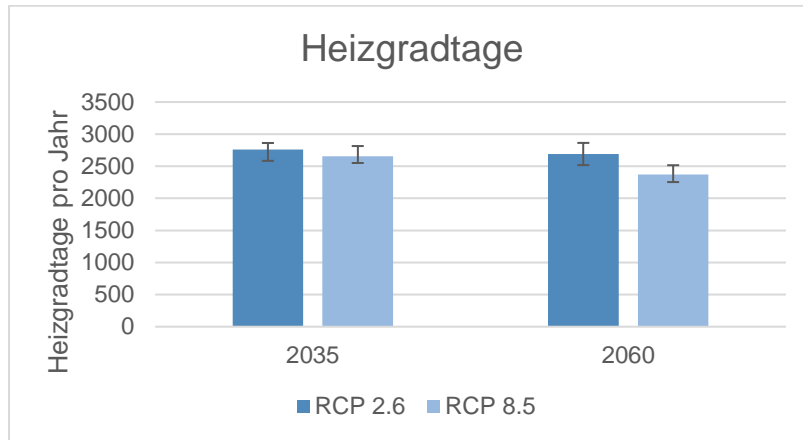
Die mittlere Anzahl Hitzetage an der Station Basel-Binningen wird im Zeitraum um 2035 auf knapp 18 prognostiziert (im Szenario RCP 2.6) und steigt bis 2060 kaum an. Auf einer Höhenlage unter 275m werden in diesem Szenario mit knapp 20 leicht mehr Hitzetage prognostiziert bis 2035 und verändern sich ebenfalls nicht bis 2060. Im Szenario RCP 8.5 werden die Unterschiede zwischen dem Zeitraum um 2035 und 2060 jedoch stärker sichtbar. Bei der Station Basel-Binningen steigt die Anzahl Hitzetage zwischen 2035 und 2060 von 18 auf 28 an. An tieferer Höhenlage, welche den urbanen Wärmeinseleffekt repräsentiert, steigt die Anzahl Hitzetage von knapp 21 um 2035 auf 31 bis 2060 an.

Grafik 4: Kühlgradtage in den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5 an der Station Basel-Binningen mit Konfidenzintervall. Datenquelle: CH2018 MeteoSchweiz



Ähnlich wie die Anzahl Hitzetage gibt es im Szenario RCP 2.6 nur geringe Unterschiede in den Kühlgradtagen zwischen 2035 und 2060. Im Szenario RCP 8.5 nehmen die Kühlgradtage jedoch merklich zu von 257 (Jahr 2035) auf 372 (Jahr 2060).

Grafik 5: Heizgradtage in den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5 an der Station Basel-Binningen mit Konfidenzintervall. Datenquelle: CH2018 MeteoSchweiz

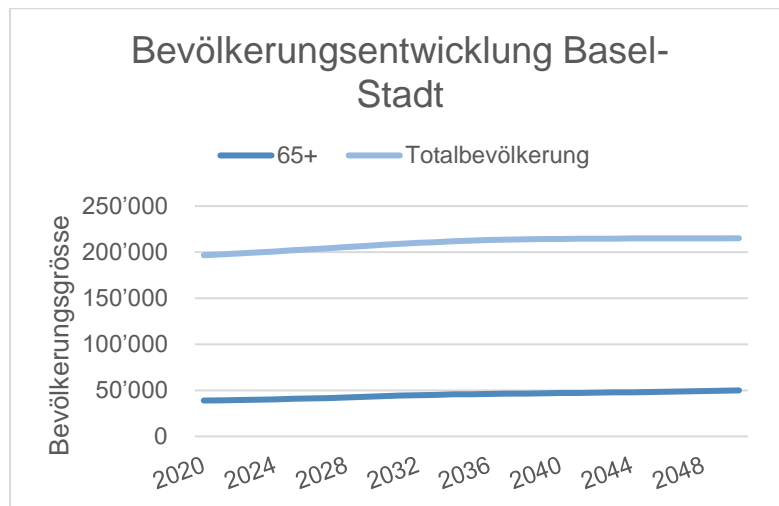


Die Veränderung der Heizgradtage im Szenario RCP 2.6 ist zwischen 2035 und 2060 vernachlässigbar klein und beträgt 2692 Heizgradtage bis 2060. Im Szenario RCP 8.5 werden 2657 Heizgradtage bis 2035 und 2372 Heizgradtage bis 2060 prognostiziert.

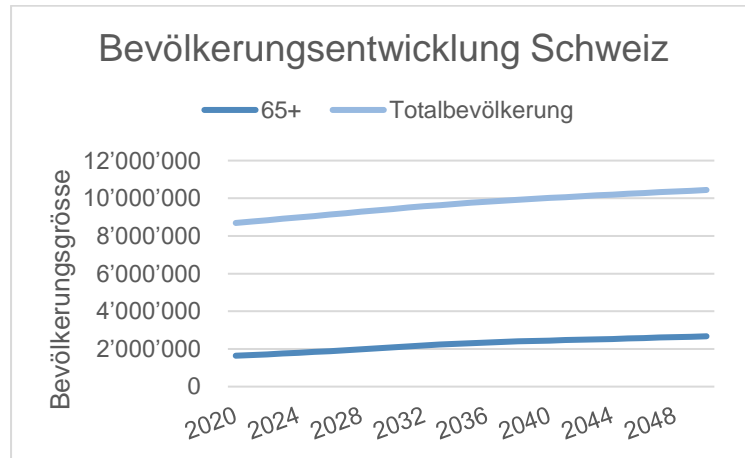
Datenbasis: Demographische Entwicklung

Daten bezüglich der demographischen Entwicklung im Kanton Basel-Stadt entnehmen wir den Bevölkerungsszenarien bis 2050 des Bundesamtes für Statistik. Wir verwenden das Referenzszenario für die Entwicklung der Bevölkerung unterteilt in Altersgruppen. Im Vergleich zur Gesamtbevölkerung der Schweiz steigt der Anteil der 65-Jährigen und Älteren im Kanton Basel-Stadt weniger stark.

Grafik 6: Bevölkerungsentwicklung im Kanton Basel-Stadt in der Gruppe der über 65-Jährigen und in der Totalbevölkerung. Datenquelle: Bevölkerungsszenarien, Bundesamt für Statistik



Grafik 7: Bevölkerungsentwicklung in der Schweiz in der Gruppe der über 65-Jährigen und in der Totalbevölkerung.
Datenquelle: Bevölkerungsszenarien, Bundesamt für Statistik



Datenbasis: Bereich Gesundheit

Für die Berechnung der Mortalität verwenden wir die Anzahl Todesfälle im Kanton Basel-Stadt. Diesbezügliche Daten werden vom Bundesamt für Statistik publiziert. Für die Berechnung der Arbeitsproduktivität beziehen wir uns auf Daten der Statistik der Unternehmungsstruktur des Bundesamtes für Statistik. Dabei verwenden wir Daten über die Anzahl Beschäftigte und Vollzeitäquivalente nach Branche.

Datenbasis: Bereich Energie

Für die Kosteneinschätzung der Klimafolgen im Energiebereich nutzen wir Daten aus der Energiestatistik des Statistischen Amtes des Kantons Basel-Stadt. Angaben über die Energiebezugsfläche entnehmen wir dem Bericht über energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt von Berger et al. (2011).

Datenbasis: Bereich Gebäude und Infrastruktur

Die Einschätzung des Schadenpotentials im Bereich Gebäude und Infrastruktur beruht auf Berechnungen, die uns das Bau- und Verkehrsdepartements Basel-Stadt (Tiefbauamt) zur Verfügung gestellt hat.

2. Ergebnisse: Klimafolgekosten

In einem ersten Schritt schätzen wir die Folgekosten von Klimawandel in den zwei Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 für die drei Bereiche Gesundheit, Energie sowie Gebäude und Infrastruktur. Diese Quantifizierung soll eine Einordnung der Kosten darstellen und einen Vergleich zwischen den zwei betrachteten Szenarien und dem Szenario mit Adaptationsmassnahmen ermöglichen. Es ist jedoch festzuhalten, dass diese Berechnungen auf diversen Annahmen beruhen, die wir im Anhang beschreiben. Zusätzlich gibt es bei allen Daten aus Szenarien (Klima, Bevölkerung) Unsicherheiten, auf welche Rücksicht genommen werden muss. Unsere Vorgehensweise beschreiben wir im Detail im Anhang.

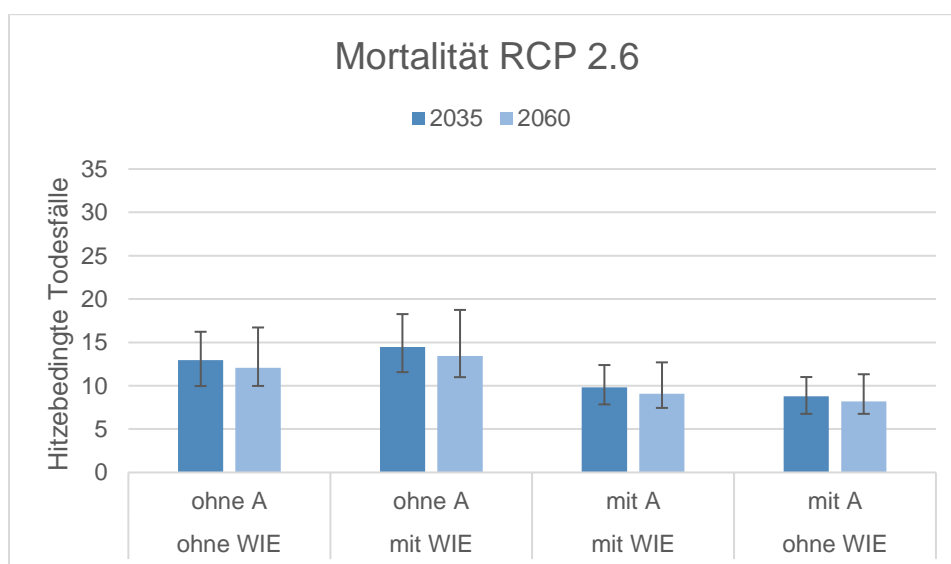
2.1 Bereich Gesundheit: Mortalität durch Hitzebelastung

Im Bereich Gesundheit betrachten wir zunächst die Auswirkungen von zunehmender Hitzebelastung auf das Sterberisiko. Als Basis für die Berechnung der Erhöhung des Sterberisikos verwenden wir die Studie von Ragetti et al. (2017).

Wir weisen die Kosteneinschätzungen der hitzebedingten Mortalität zum einen für die Gesamtbevölkerung des Kantons und zum anderen unterteilt nach Alterskategorien aus, da das relative Sterberisiko besonders für die Bevölkerungsgruppe der über 75-Jährigen höher ist als für die jüngere Bevölkerung. Zusätzlich weisen wir die Klimafolgekosten separat aus für die Szenarien mit und ohne WIE. Die Berechnungen sind im Anhang in Abschnitt A.1 Vorgehensweise näher erläutert.

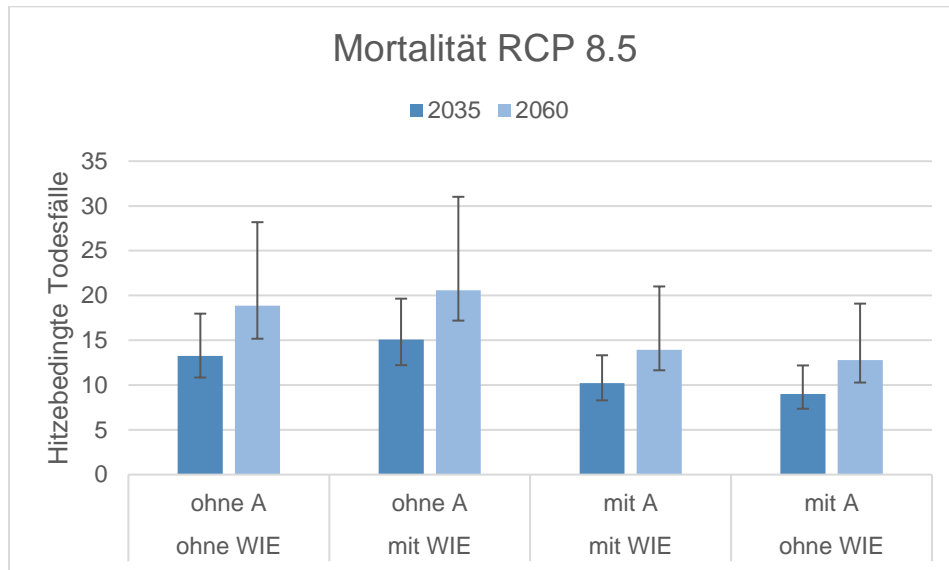
Die Kosten in Form des Wertes verlorener Lebensjahre werden aufgrund der stark unterschiedlichen Auswirkungen von Hitzetagen auf ältere (über 75 Lebensjahre) und noch-nicht-ältere Menschen (unter 75 Lebensjahren) so bestimmt, dass für beide Gruppen die Mortalität getrennt berechnet und getrennt mit dem erwarteten Verlust an Lebensjahren gewichtet wird. Der Wert jedes einzelnen Lebensjahres wird dann wieder identisch angesetzt.

Grafik 8: Berechnete Mortalität im Szenario 2.6 im Jahr 2035 und 2060. «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. «Ohne WIE» und «mit WIE» bedeuten jeweils ohne und mit Wärmeinseleffekt.



Für das RCP 2.6 Szenario ergeben die Berechnungen eine jährliche Mortalität durch Hitzetage von 13 ohne, respektive 14.5 mit WIE bis 2035, sowie 12.1 ohne respektive 13.4 mit WIE bis 2060 in der Gesamtbevölkerung. Die diesbezüglichen Kosten von verlorenen Lebensjahren belaufen sich auf knapp 22 Mio. CHF ohne WIE und 24 Mio. CHF mit WIE bis 2035. Für 2060 ergeben sich 20 Mio. CHF ohne WIE und 22 Mio. CHF mit WIE. Die leicht tieferen Kosten im Jahr 2060 im Vergleich zu 2035 ergeben sich trotz steigender Mortalität aus dem leicht höheren Durchschnittsalter und der damit verbundenen tieferen Anzahl an verlorenen Lebensjahren im Jahr 2060 gegenüber 2035.

Grafik 9: Berechnete Mortalität im Szenario 8.5 im Jahr 2035 und 2060. «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. «Ohne WIE» und «mit WIE» bedeuten jeweils ohne und mit Wärmeinseleffekt.



Im RCP 8.5 Szenario ergibt sich eine jährliche hitzebedingte Mortalitätsrate von 13.2 ohne und 15.1 mit WIE bis 2035 was Kosten von 22 und 25 Mio. CHF verursachen würde. Bis 2060 würde die Mortalität in diesem Szenario deutlicher zunehmen: Auf 18.9 ohne und 20.6 mit WIE. Dadurch würde Kosten von 31 respektive 34 Mio. CHF entstehen.

Aufgeteilt nach Alter entfällt die hitzebedingte Sterblichkeit vor allem auf die Bevölkerungsgruppe 75+ aufgrund des erhöhten Sterberisikos bei zunehmender Hitzebelastung. Da die verlorenen Lebensjahre («life years lost») im Todesfall in der Bevölkerungsgruppe unter 75 jedoch höher ausfallen als in der 75+ Gruppe fällt der grösste Kostenanteil auf die unter 75-Jährigen.

Die Kosten der erhöhten Mortalität aufgrund einer durch Klimawandel bedingten Zunahme der Hitzetage fallen vollumfänglich bei Privaten an.

Auch wenn die zusätzliche Mortalität in Relation zur Bevölkerungszahl scheinbar gering erscheint, ergeben sich doch erhebliche Kosten. Dies liegt an der hohen Lebenserwartung sowie der hohen Lebensqualität in der Schweiz, die zu einem vergleichsweise hohen Verlust an Lebensjahren und einem hohen Wert je Lebensjahr führen. Zudem ist zu betonen, dass die Kosten über Jahrzehnte jährlich wiederkehren, während Adaptations- und Mitigationskosten meist nur für wenige Jahre anfallen. Die Kosten werden dabei zudem eher konservativ eingeschätzt, da nur der Effekt des Klimawandels bis 2060 berücksichtigt wird. Insbesondere im RCP 8.5 Szenario ist aber mit einem weiteren Anstieg der Kosten bis 2200 zu rechnen.

2.2 Bereich Gesundheit: Verringerte Arbeitsproduktivität durch Hitzetage

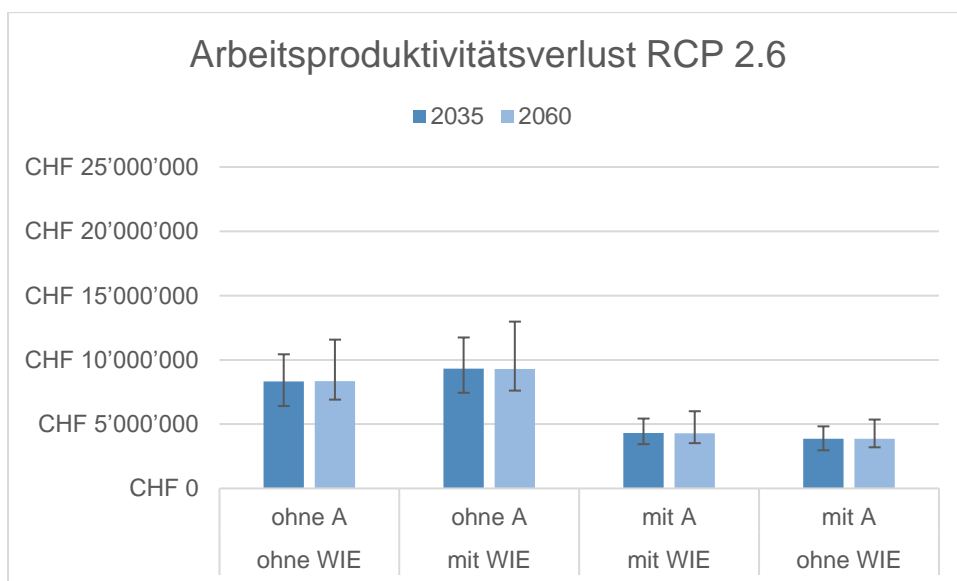
Die Belastung durch Hitzetage beeinträchtigt nebst den direkten Gesundheitseffekten auch die Arbeitsproduktivität der Beschäftigten im Kanton. Auch diese Auswirkung kann anhand der Studie von Ragetli et al. (2017) auf der Basis der Zunahme an Hitzetagen abgeschätzt werden.

Dabei muss zwischen Wirtschaftssektoren unterschieden werden, da insbesondere Beschäftigte im dritten Sektor weniger körperlich beansprucht werden und somit ihre Arbeitsproduktivität auch weniger durch Hitze eingeschränkt wird. Die Berechnung für den dritten Sektor ergibt Verluste an

Arbeitsproduktivität im vernachlässigbaren Bereich (<0.002%), so dass auf die Angabe der Kosten für diesen Sektor verzichtet wird.

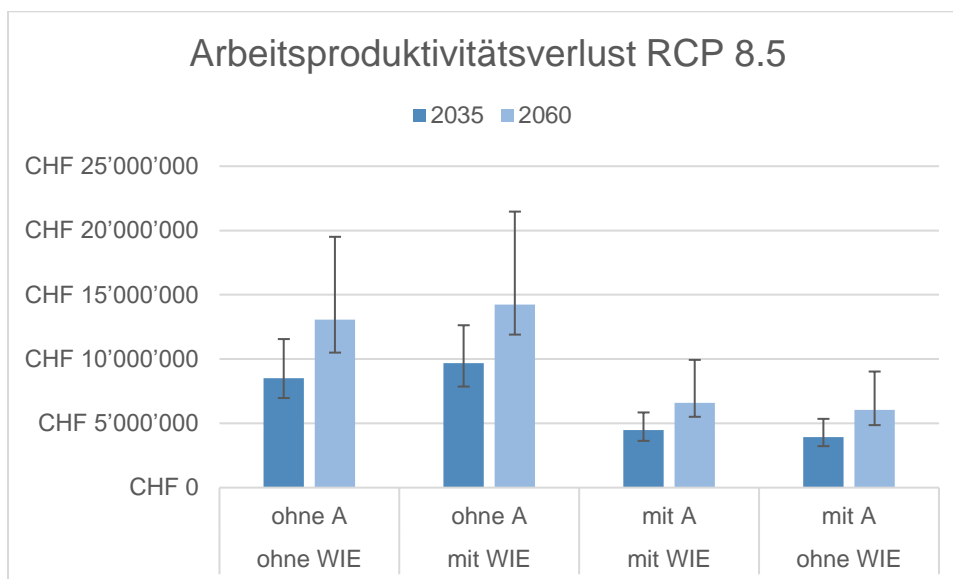
Der erste und zweite Wirtschaftssektor werden aber von Klimafolgen betroffen sein. Aufgrund zunehmender Hitzetage ergeben unsere Berechnungen bis 2035 im Szenario RCP 2.6 Kosten von 8.3 Mio. CHF ohne und 9.3 Mio. CHF mit WIE. Bis 2060 erhöhen sich diese Kosten leicht auf 8.4 Mio. CHF ohne WIE und auf 9.3 Mio. CHF mit WIE. Dabei fällt der Grossteil der Verluste im zweiten Sektor an, wo Kosten von 8 Mio. CHF ohne und 9 Mio. CHF mit WIE entstehen. Dies ist durch die geringe Zahl von Beschäftigten im ersten Sektor im Kanton Basel-Stadt zu erklären.

Grafik 10: Berechneter Arbeitsproduktivitätsverlust im Szenario RCP 2.6 im Jahr 2035 und 2060. «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. «Ohne WIE» und «mit WIE» bedeuten jeweils ohne und mit Wärmeinseleffekt.



Im Szenario RCP 8.5 betragen die Produktivitätseinbussen bis 2035 gemäss unseren Berechnungen 8.5 ohne und 9.7 Mio. CHF mit WIE, wobei 8.2 respektive 9.3 Mio. CHF im zweiten Sektor anfallen. Bis 2060 steigen die Verluste auf 13.1 Mio. CHF ohne WIE und 14 Mio. CHF mit WIE an.

Grafik 11: Berechneter Arbeitsproduktivitätsverlust im Szenario RCP 8.5 im Jahr 2035 und 2060. «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. «Ohne WIE» und «mit WIE» bedeuten jeweils ohne und mit Wärmeinseleffekt.



Hier ist zu berücksichtigen, dass wir lediglich Kosteneinbussen betrachten, welche durch eine hitzebedingte eingeschränkte Arbeitsproduktivität entstehen. Wie sich das Arbeitsangebot in den verschiedenen Sektoren verändert, wird in unseren Berechnungen nicht berücksichtigt. Es gibt jedoch Studien, welche auf eine konkave Relation zwischen Temperatur und Arbeitsangebot hindeuten (siehe z.B. Dasgupta et al., 2021). Dementsprechend ist anzunehmen, dass das Arbeitsangebot in Sektoren, welche besonders stark von der Hitzebelastung betroffen sind, abnimmt. Dazu zählen besonders der erste Sektor und Beschäftigte, welche im Freien arbeiten.

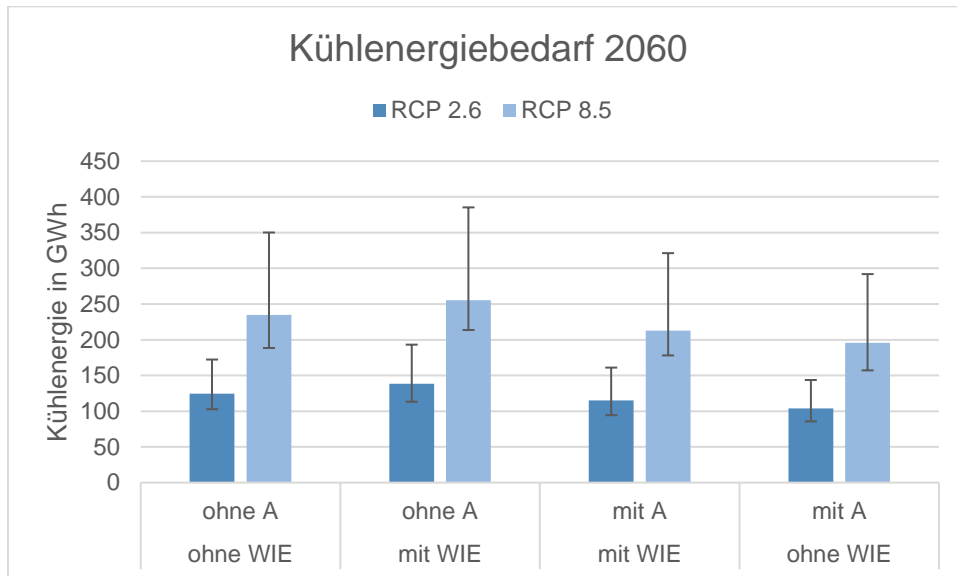
Die Kosten durch verringerte Arbeitsproduktivität dürften zunächst bei Unternehmen anfallen. Je nach Lage am Arbeitsmarkt und Auswirkungen in benachbarten Kantonen ist es denkbar, dass eine verringerte Arbeitsproduktivität zu einem flacheren Verlauf der Lohnentwicklung führt. Damit würden langfristig diese Kosten teilweise durch Unternehmen und teilweise durch Private getragen.

2.3 Bereich Energie

Im Bereich Energie berücksichtigen wir die Folgen des Klimawandels für den Heiz- und Kühlbedarf im Kanton. Zum einen führt die Klimaerwärmung zu einer Reduktion der Heizgradtage, was den Energieverbrauch für Raumwärme senkt. Zum anderen steigert die zunehmende Hitzebelastung das Bedürfnis nach Kühlung.

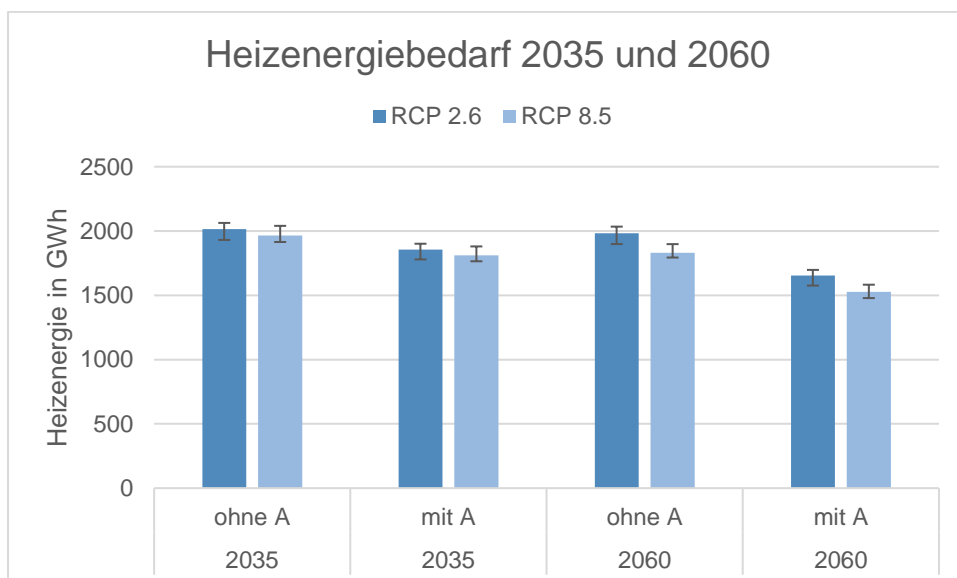
Die Abnahme der Heizgradtage führt gemäss unseren Berechnungen zu einer Reduktion des Wärmeenergiekonsums gegenüber dem Referenzwert (durchschnittlicher Energiebedarf 2010-2020). Im Szenario RCP 2.6 schätzen wir den Heizenergiekonsum bis 2035 auf 1014 GWh pro Jahr, wovon 48% auf den Wohnbereich und 52% auf den Gewerbe- und Industriebereich entfallen. Dies entspricht Kosten von 168 Mio. CHF und nimmt bis 2060 auf 166 Mio. CHF ab. Im RCP 8.5 Szenario belaufen sich die Kosten noch auf 164 Mio. CHF bis 2035 und auf 153 Mio. CHF bis 2060. Dies entspricht einem Energiebedarf von 1965 GWh bis 2035 und 1830 GWh bis 2060.

Grafik 12: Berechneter Kühlenergiebedarf in GWh im Jahr 2060 in den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5. . «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. «Ohne WIE» und «mit WIE» bedeuten jeweils ohne und mit Wärmeinseleffekt.



Die Zunahme der Hitzetage in den Klimaszenarien wird zu einer zunehmenden Nachfrage nach Kühlenergie führen. Diese hängt zum einen von der Einsatzrate von Kühlgeräten und von den Anzahl Hitzetagen ab. Gegeben unseren Annahmen schätzen wir den Kühlenergiebedarf bis 2060 im RCP 2.6 Szenario ohne WIE auf 124 GWh und mit WIE auf 138 GWh. Der grösste Nachfrageanteil ist dabei dem Gewerbe und der Industrie zuzuordnen. Der Kühlbedarf von Haushalten spielt dabei mit einem Anteil von 10% eine untergeordnete Rolle. Im RCP 8.5 Szenario steigt der Kühlenergiekonsum bis 2060 merklich an auf 235 GWh ohne WIE und auf 256 GWh mit WIE.

Grafik 13: Berechneter Heizenergiebedarf in GWh im Jahr 2035 und 2060 in den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5. . «Ohne A» und «mit A» bedeuten ohne respektive mit Adaptationsmassnahmen. Es wird keine Unterscheidung nach dem WIE gemacht.



2.4 Bereich Gebäude und Infrastruktur

Der Klimawandel wird im Bereich Gebäude und Infrastruktur Folgen auf das Schadenpotential durch Hochwasser, Hagel und Sturm haben. Es wird erwartet, dass Extremereignisse zunehmen werden (Regierungsrat, 2011). Das Ausmass ist jedoch mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Für die Einschätzung der Kosten solcher Ereignisse nehmen wir aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit keine eigenen Berechnungen vor und beruhen uns auf detaillierten Analysen des Tiefbauamts des Kantons Basel-Stadt und auf Einschätzungen der Gebäudeversicherung Basel-Stadt.

Grössere Schäden durch Hagel und Sturm werden laut Einschätzung der Gebäudeversicherung bei 500-jährlichen Ereignissen nennenswert. Diese Kosten werden hier nicht weiter berücksichtigt, da eine Quantifizierung der Kosten sowie eine Abschätzung des Einflusses von Klimawandel auf die Kosten oder die Wahrscheinlichkeit dieser Ereignisse mit vorhandenen Daten und der verfügbaren Zeit nicht möglich sind.

Aufgrund dieser Basis dokumentieren wir nur die Kosten, welche sich auf Hochwasserschäden beziehen und welche die Sachwerte Gebäude und Infrastruktur betreffen. Schäden an Anlagen, Vermögenswerten innerhalb der Gebäude und Todesfälle sind hier nicht erfasst, erhöhen die Kosten jedoch nach Einschätzung des BVD um einen Faktor von 1.8 bis 2.

Das Risiko, welches durch Hochwasser ausgeht, ist am grössten beim Birsig, in Riehen und am Dorenbach. Es ist besonders mit höheren Abflussspitzen zu rechnen. Für das Szenario 2.6 mit beschränktem Klimawandel sind keine separaten Berechnungen verfügbar, weshalb wir an dieser Stelle die kalkulierten Kosten in einem Szenario ohne Klimawandel als untere Kostengrenze ausweisen. Diese belaufen sich für ein 300-jährliches Ereignis beim Birsig auf 1.9 Mrd. CHF und für 100-jährliche Ereignisse in Riehen und beim Dorenbach auf 350 Mio. CHF, wodurch jährliche Gesamtkosten von 9.8 Mio. CHF erwartet werden können.

Im Szenario RCP 8.5 mit starkem Klimawandel bis 2060 werden die Kosten eines 300-Jahresereignisses beim Birsig vom Tiefbauamt auf 2.5 Mrd. CHF geschätzt. Für Riehen und Dorenbach werden 100-jährliche Ereignisse mit Kosten von 445 Mio. CHF eingeschätzt. Daraus ergibt sich gesamthaft ein jährlicher Erwartungswert der Kosten von 12.8 Mio. CHF.

In Bettingen gibt es ein geringeres Schadenpotential im Rahmen von 35 bis 40 Mio. CHF pro Ereignis. Diese Berechnungen sind beim Tiefbauamt jedoch noch in Bearbeitung und werden daher im vorliegenden Bericht nicht weiter berücksichtigt. Bei Rhein, Birs, Wiese und beim Allschwilerbach wurden bereits Schutzmassnahmen getroffen, so dass noch ein Restrisiko festzuhalten ist. Dies wird in der hier ausgewiesenen Kosteneinschätzung vernachlässigt.

Für den Bereich Gebäude und Infrastruktur werden aufgrund der vorhandenen Daten keine Kosten für das Jahr 2035 ausgewiesen.

3. Klimafolgekosten mit Adaptationsmassnahmen

Im Folgenden analysieren wir das stärkere Klimawandelszenario RCP 8.5 mit Adaptationsmassnahmen. Dabei ist anzumerken, dass es sich um exemplarische Massnahmen handelt, welche jedoch aufzeigen sollen, wie sich die Klimafolgekosten damit einordnen lassen.

3.1 Bereich Gesundheit

Um die Hitzebelastung für die Bevölkerung zu mildern, definiert der Regierungsrat (2021) Handlungsbedarf bezüglich Information und Prävention vor allem in der besonders betroffenen älteren Bevölkerung sowie in anderen vulnerablen Teilen der Bevölkerung wie z.B. Kleinkinder. Zudem spielt der Wärmeinseleffekt eine beträchtliche Rolle und kann durch gezielte Massnahmen, eine bessere Stadtdurchlüftung und –begrünung vermindert werden.

In der vorliegenden Analyse gehen wir hauptsächlich von Adaptationsmassnahmen wie Informations- und Präventionsarbeit aus. Für die Quantifizierung stützen wir uns auf Ragettli et al. (2017), welche ein milderer relatives Sterberisiko in gewissen Kantonen nach dem Hitzesommer 2003 beobachteten und dies auf solche Massnahmen zurückschlossen. Für eine Eliminierung des WIE wären merklich stärkere Massnahmen notwendig, welche teils schwierig umzusetzen sein dürften (z.B. im Konflikt mit dem Denkmalschutz). Wir weisen jedoch ebenfalls Kosteneinsparungen im Fall ohne WIE als Darstellung von markanten Adaptationsmassnahmen aus.

Gemäss unseren Berechnungen kann die Mortalität mit Adaptationsmassnahmen im RCP 2.6 Szenario bis 2035 auf 9.8 mit WIE reduziert werden. Wenn zusätzlich der WIE mitigiert werden kann, kann eine Reduktion auf 8.8 Todesfälle pro Jahr erreicht werden. Bis 2060 könnte eine Reduktion auf 9.1 Todesfälle mit und 8.2 ohne WIE erzielt werden.

Im Szenario RCP 8.5 könnte mit Adaptationsmassnahmen bis 2035 die Mortalität auf 10.2 mit WIE respektive auf 9 ohne WIE und bis 2060 auf 13.9 und 12.8 beschränkt werden. Dies würde gegenüber dem RCP 8.5 Szenario ohne Adaptationsmassnahmen zu Kostenabwendungen von 18 Mio. (mit WIE) und 16 Mio. (ohne WIE) bis 2035 und bis 2060 25 Mio. (mit WIE) und 23 Mio. (ohne WIE) führen. Bei einem Vergleich der Mortalität bis 2060 ohne Adaptationsmassnahmen und mit WIE gegenüber Adaptationsmassnahmen und einer Vermeidung des WIE wären Einsparungen von 26 Mio. CHF möglich.

Bezüglich Adaptationsmassnahmen um hitzebedingte Arbeitsproduktivitätsverluste zu reduzieren, nehmen wir an, dass Schutzmassnahmen, welche merklich vor der direkten Hitzebelastung schützen können, im ersten Sektor schwierig umzusetzen sind.

Als exemplarische Einschätzung kann eine Kürzung der Arbeitszeit in Betracht gezogen werden. Dies würde einem stündlichen Arbeitsproduktivitätsverlust von 100% entsprechen, was im ersten Sektor stündliche Kosten von 2125 CHF bis 2060 entsprechen würde. Hochgerechnet auf die Anzahl Hitzetage bis 2060 würde dies jährliche Kosten von 38'000 CHF ohne und 42'000 CHF mit WIE im RCP 2.6 und im RCP 8.5 60'000 CHF ohne und 65'000 CHF mit WIE bedeuten.

Im zweiten Wirtschaftssektor können Adaptationsmassnahmen getroffen werden, welche die Belastung durch das Arbeitsklima mildern können. Dazu zählen Massnahmen, welche das Raumklima verbessern, sowie Schutzmassnahmen bei den Beschäftigten selber. Wir gehen in unseren Berechnungen von Massnahmen aus, welche die Wet Bulb Globe Temperature an einem Hitzetag um ein Grad reduzieren vermögen. Dadurch belaufen sich die Produktivitätsverluste bis 2035 im RCP 2.6 auf 4.3 Mio. CHF mit WIE und bleiben bis 2060 unverändert. Wenn zusätzlich Massnahmen unternommen werden, um den WIE zu eliminieren, sinken die Produktivitätsverluste auf 3.9 Mio. CHF bis 2060. Im RCP 8.5 würden die Kosten der Produktivitätseinbussen mit WIE bis 2035 4.5 Mio. und bis 2060 6.6 Mio. CHF betragen. Ohne WIE könnten diese Kosten bis 2035 auf 4 Mio. und bis 2060 auf 6 Mio. CHF begrenzt werden.

Im Vergleich zum RCP 8.5 Szenario ohne Adaptationsmassnahmen können gemäss dieser Einschätzung durch Adaptationsmassnahmen im zweiten Wirtschaftssektor im Fall mit WIE bis 2060 Kosten von 7.2 Mio. und im Fall ohne WIE 6.6 Mio. CHF eingespart werden.

3.2 Bereich Energie

Um Klimafolgekosten im Energiebereich abzuwenden, sind besonders energieeffizienzsteigernde Adaptationsmassnahmen wichtig. Durch Gebäudesanierungsmassnahmen kann der Kühlenergiebedarf begrenzt und der Heizenergiebedarf weiter gesenkt werden. Der Regierungsrat (2021) sieht diesbezüglich Massnahmen wie bauliche Vorschriften vor, um den Bedarf nach aktiver Kühlung von Gebäuden zu begrenzen. Exemplarisch gehen wir von Adaptationsmassnahmen aus, welche bei Gebäudesanierungen die Bauweise, wie zum Beispiel eine verbesserte Isolation oder ein sommerlicher Wärmeschutz, und die Energieeffizienz von Heiz- und Kühlanlagen verbessern. Wir machen eine pauschale Annahme und rechnen mit Energiekonsumeinsparungen von 30% im Durchschnitt bei sanierten Gebäuden.

Es ist anzunehmen, dass die Einsatzrate von Kühlanlagen bis 2035 erst langsam ansteigt, da bis dann die Investitionsmöglichkeiten noch moderat sind und die Hitzebelastung noch nicht stark angestiegen ist gegenüber dem heutigen Zustand. Daher weisen wir den Kühlenergiebedarf mit Adaptationsmassnahmen und die damit verbundenen Kosten erst für den Zeitraum bis 2060 aus.

Wenn Massnahmen ergriffen werden, welche eine Sanierungsrate von 2% bewirken, schätzen wir den Kühlenergiebedarf bis 2060 im Szenario RCP 2.6 noch auf 104 GWh ohne WIE sowie auf 115 GWh mit WIE. Dies entspricht einer Senkung der Kosten um 1.6 Mio. CHF auf 7.8 Mio. CHF mit WIE. Wenn mittels Adaptationsmassnahmen ausserdem der WIE eliminiert werden kann, könnten die Kosten gemäss unserer Einschätzung auf 7.1 Mio. CHF beschränkt werden.

Im Szenario RCP 8.5 können die Kosten mit Adaptationsmassnahmen um 2.9 Mio. CHF mit WIE respektive um 2.7 Mio. CHF ohne WIE gesenkt werden. Dadurch würden sich die Kosten für den Bedarf nach 256 GWh im Fall mit WIE bis 2060 noch auf 14.6 Mio. CHF und für den Bedarf nach 235 GWh Kühlenergie ohne WIE noch auf 13.4 Mio. CHF belaufen.

Nicht berücksichtigt ist, dass Wärmepumpen (mit geothermischer Wärmequelle oder Grundwasser als Wärmequelle) kostengünstig zu Kühlzwecken verwendet werden können. Eine Förderung der Verbreitung von Wärmepumpen könnte daher zu einer weiteren Senkung der Kosten des Kühlenergiebedarfs führen.

Die Kosteneinsparungen beim Wärmeenergiebedarf durch Klimafolgen können durch energetische Sanierungsmassnahmen zusätzlich erhöht werden. Im Szenario RCP 2.6 schätzen wir die Kosten für den Heizwärmebedarf von 1856 GWh bis 2035 auf 155 Mio. CHF und von 1653 GWh bis 2060 noch auf 138 Mio. CHF ein. Weitere Einsparungen würden sich im Szenario RCP 8.5 ergeben. Bis 2035 würde der Bedarf an 1811 GWh Heizenergie 151 Mio. CHF kosten. Bis 2060 würde die weitere Reduktion auf 1526 GWh noch 127 Mio. CHF kosten.

Über den gesamten Energiebereich betrachtet, ergeben sich im Zeitraum 2060 ohne Adaptationsmassnahmen gegenüber heute leicht höhere Nettokosten im Szenario RCP 2.6 (Mittelwert), da die Kosteneinsparungen im Heizbereich die Kostenentstehung im Kühlbereich nicht kompensieren können. Im Szenario RCP 8.5 (Mittelwert) aber ergeben sich Nettokosteneinsparungen aufgrund der stärkeren Heizenergienachfrage bei stärkerem Klimawandel. Innerhalb der Konfidenzintervalle ist jedoch keine eindeutige Aussage machbar. In allen Szenarien mit Adaptationsmassnahmen können jedoch bis 2060 deutlich

Nettokosteneinsparungen erzielt werden gegeben unseren exemplarischen Adaptationsmassnahmen.

3.3 Bereich Gebäude und Infrastruktur

Gemäss Bundesgesetz über den Wasserbau sind die Kantone für den Hochwasserschutz, insbesondere den Schutz von Menschen und Sachwerten, verantwortlich. Beim Birsig wurden bereits Massnahmen getroffen, um vor Ereignissen, welche häufiger als 300-jährlich eintreffen, zu schützen (Regierungsrat, 2021). Darüber hinaus könnte jedoch ein Entlastungstollen als Massnahme umgesetzt werden.

Da davon ausgegangen wird, dass der Klimawandel einen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von bisher 300-jährlichen Hochwasserereignissen, ebenso wie von Ereignissen mit einer häufigeren Jährlichkeit haben wird, sind klimabezogene Adaptationsmassnahmen gleichzusetzen mit einer Dringlichkeit bei der Umsetzung von Massnahmen für den gesetzlich vorgegebenen Hochwasserschutz.

Für eine Betrachtung der Kosten von Klimafolgen, wenn Adaptationsmassnahmen im Bereich Gebäude und Infrastruktur umgesetzt werden, treffen wir die Annahme, dass die Kosten von 100-jährlichen Ereignissen weitgehend vermieden werden können. Neben den Massnahmen des Kantons bedarf dies jedoch auch privater Adaptationsmassnahmen. Im Gegensatz hierzu gehen wir davon aus, dass die Kosten eines 300-jährlichen Ereignisses durch Adaptationsmassnahmen nicht vermieden werden und als Restrisiko verbleiben.

Dies ist als eher grobe Approximation zu sehen. Auf der einen Seite werden auch viele Schäden durch ein 300-jährliches Ereignis durch Adaptationsmassnahmen verhindert werden können. Auf der anderen Seite gibt es auch seltenere Ereignisse, die durch den Klimawandel häufiger werden dürften, und die (mangels belastbarer Szenarien) nicht in die Betrachtung einbezogen sind. Dementsprechend sollten die Angaben hier als mit hohen Unsicherheiten behaftet gesehen werden. Eine genaue Erfassung würde eine Modellierung konkreter Adaptationsmassnahmen benötigen.

Da im Bereich des Hochwasserschutzes ohnehin die Pflicht zur Vorsorge gilt und die Angaben hier daher eher als Argument für die rasche Umsetzung ohnehin notwendiger Massnahmen zu sehen sind, dürfte die Unsicherheit hier nur wenig Entscheidungsrelevanz besitzen.

Im Szenario RCP 2.6. ergibt sich daher eine untere Kostengrenze (siehe Abschnitt 2.4) von 1.9 Mrd. CHF bei einer Jährlichkeit von 300 und damit ein jährlicher Erwartungswert von 6.3 Mio. CHF. Im Szenario RCP 8.5 würden sich die Kosten eines 300-jährlichen Ereignisses beim Birsig auf 2.5 Mrd. CHF und somit jährlich auf 8.3 Mio. CHF belaufen.

4. Zeitliche Zuordnung der Kosten

Die bislang ermittelten Kosten fallen jährlich wiederkehrend an. Das heisst sowohl im Bereich Energie als auch im Bereich Gesundheit ist davon auszugehen, dass die für 2060 bestimmten Kosten nicht nur im Jahr 2060 sondern auch in allen Folgejahren anfallen. Diese wiederkehrenden Kosten müssen aber oft mit einmaligen Kosten von Adaptations- oder Mitigationsmassnahmen verglichen werden. Zudem fallen einige Adaptations- und Mitigationskosten vermutlich deutlich vor 2060 an.

Der übliche Ansatz ist die Berechnung des Gegenwartswertes der wiederkehrenden Kosten. Hierfür sind allerdings verschiedene Aspekte zu bedenken.

Zum einen weisen die Klimaszenarien auch nach 2060 einen weiteren Anstieg der mittleren Temperatur, der Zahl der Hitzetage und der Kühlgradtage an. Diese Szenarien werden aber mit zunehmendem Zeithorizont immer unsicherer und damit für langfristige Kostenprognosen nur bedingt verwendbar. Wir weisen daher im Folgenden den Gegenwartswert der Kosten aus für den hypothetischen Fall, dass diese Kosten nach 2060 nicht weiter ansteigen. Der so bestimmte Gegenwartswert ist damit als eine sehr konservativ bestimmte Untergrenze zu sehen.

Zum anderen muss für die Berechnung des Gegenwartswertes immer eine Diskontrate angesetzt werden. Für Fragen, die öffentliche Güter, wie die Vermeidung von Klimawandel oder viele Adaptationsmassnahmen, betreffen ist hier eine sogenannte «gesellschaftliche Diskontrate» (social discount rate) zu verwenden. In der Wissenschaft besteht eine intensive Diskussion über die Wahl dieser Diskontrate. Einige Studien argumentieren (z.B. Nordhaus, 2019), dass hier eine Rate anzusetzen ist, welche die Zeitpräferenzen («Ungeduld») der Bevölkerung und zu erwartendes Wirtschaftswachstum widerspiegelt. Diese Diskontrate wird oft an marktüblichen Zinsen orientiert, da diese in einem perfekt funktionierenden Markt ein mögliches Mass für Zeitpräferenzen sind. Typischerweise wird hier eine Diskontrate von 3-6% p.a. angesetzt (Nordhaus, 2019).

Andere Studien argumentieren, dass im Fall langfristiger Umweltprobleme ein Verteilungsproblem zwischen Generationen vorliegt (Dasgupta, 2008). Für dieses Verteilungsproblem ist die Zeitpräferenz heute lebender Menschen nicht bedeutsam, da es um eine Frage der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Generationen geht. In diesem Ansatz wird die soziale Diskontrate daran orientiert, wie wahrscheinlich es ist, dass es eine nächste Generation geben wird (typischerweise wird hier eine soziale Diskontrate von 0,1-1% p.a. verwendet, s. Nordhaus (2019) und Stern et al. (2006)).

In der Diskussion der Kosten des Klimawandels ist es mittlerweile üblich, Gegenwartswerte mit beiden Methoden zu bestimmen. Diesem Ansatz folgen wir und weisen dementsprechend Werte mit einer eher hohen (5% p.a.) und einer niedrigen (1% p.a.) Diskontrate aus.

Tabelle 1 stellt die Faktoren dar, mit denen die in den vorangegangenen Abschnitten bestimmten Kosten multipliziert werden müssen, um den Gegenwartswert zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt zum einen für den Zeitraum 2035-2049 und zum anderen für 2050-2149.

<i>Faktor für das Basisjahr 2030</i>	<i>Diskontrate 5% p.a.</i>	<i>Diskontrate 1% p.a.</i>
<i>Kosten 2050-2149</i>	7.86	52.17
<i>Kosten 2035-2049</i>	8.92	14.14

Tabelle 1: Faktoren für die Bestimmung des Gegenwartswertes von Kosten die 2050-2149 resp. 2035-2049 gleichmässig anfallen, berechnet für verschiedene Diskonraten und das Basisjahr 2030.

Gemäss diesen Angaben ergeben sich Kosten des Klimawandels, die ab 2050 bis 2149 jährlich 1 Mio. CHF betragen, einen Gegenwartswert von 7.86 Mio. CHF für das Basisjahr 2030 und eine Diskontrate von 5% p.a., während die gleichen Kosten einen Gegenwartswert von 52.17 Mio. CHF für das Basisjahr 2030 und eine Diskontrate von 1% p.a. ergeben.

Wie diese Berechnungen zeigen, hat die Wahl der sozialen Diskontrate einen erheblichen Einfluss auf die zu veranschlagende Höhe der Kosten. Dieses Ergebnis ist typisch für alle Berechnungen von Klimafolgekosten und unumgänglich, da die Wahl der Diskontrate eine ethische Entscheidung ist, die mit wissenschaftlichen Methoden diskutiert, aber nicht getroffen werden kann.

5. Kostenvergleich

Ein Vergleich der Gesamtkosten über alle betrachteten Bereiche hinweg ist in Tabelle 2 dargestellt und zeigt zum einen die Bereichs- und die Gesamtkosten in den Szenarien mit begrenztem Klimawandel (RCP 2.6), mit starkem Klimawandel (RCP 8.5) und im Szenario mit starkem Klimawandel mit Adaptationsmassnahmen. Zum anderen sind die Kostendifferenzen zwischen den zwei Klimaszenarien RCP 2.6 und 8.5, sowie im starken Klimawandelszenario RCP 8.5 ohne und mit Adaptationsmassnahmen ausgewiesen.

Bezüglich Kostenträger ist festzuhalten, dass im Bereich Gesundheit Kosten der hitzebedingten Mortalität auf die Bevölkerung entfallen und Kosten durch Arbeitsproduktivitätsverluste von Unternehmen (Wirtschaft) getragen werden. Im Energiebereich entfallen die veränderten Kosten des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs auf die Bevölkerung und die Unternehmen. Bezüglich Hochwasser sind der Kanton und die Gebäudeversicherung Kostenträger bei Schäden an Gebäude und Infrastruktur.

2035				
	Kosten starken Klimawandels: RCP 8.5 vs 2.6 mit WIE ohne Adaptation	Kosteneinsparungen durch Adaptation in RCP 8.5 (noch mit WIE)	Kosteneinsparung durch Adaptation in RCP 8.5 inkl. Vermeidung WIE	Kostenträger
Gesundheit: Mortalität	CHF 1'000'000	CHF 18'400'000	CHF 19'200'000	Private
Gesundheit: Arbeitsproduktivität	CHF 400'000	CHF 5'200'000	CHF 5'700'000	Unternehmen
Energie: Zusatzkosten Kühlen, Heizen	-CHF 4'100'000	CHF 12'900'000	CHF 12'900'000	Private und Unternehmen
Gesamtkosten	-CHF 2'700'000	CHF 36'500'000	CHF 37'800'000	
2060				
	Kosten starken Klimawandels: RCP 8.5 vs 2.6 mit WIE ohne Adaptation	Kosteneinsparungen durch Adaptation in RCP 8.5 (noch mit WIE)	Kosteneinsparung durch Adaptation in RCP 8.5 inkl. Vermeidung WIE	Kostenträger
Gesundheit: Mortalität	CHF 11'700'000	CHF 25'200'000	CHF 25'900'000	Private
Gesundheit: Arbeitsproduktivität	CHF 4'900'000	CHF 7'600'000	CHF 8'200'000	Unternehmen
Energie: Zusatzkosten Kühlen, Heizen	-CHF 4'600'000	CHF 28'300'000	CHF 29'500'000	Private und Unternehmen
Gebäude und Infrastruktur	CHF 3'000'000	CHF 4'500'000	CHF 4'500'000	Kanton und Gebäudeversicherung
Gesamtkosten	CHF 15'100'000	CHF 65'700'000	CHF 68'100'000	
Gegenwartswert für die Jahre 2035-2149 auf das Basisjahr 2030 mit 5% diskontiert (Untergrenze, da Kosten 2035 für 2035-2049 und die Kosten 2060 für 2050-2149 gleichbleibend angesetzt wurden)				
	Kosten starken Klimawandels: RCP 8.5 vs 2.6 mit WIE ohne Adaptation	Kosteneinsparungen durch Adaptation in RCP 8.5 (noch mit WIE)	Kosteneinsparung durch Adaptation in RCP 8.5 inkl. Vermeidung WIE	Kostenträger
Gesundheit: Mortalität	CHF 101'000'000	CHF 362'000'000	CHF 375'000'000	Private
Gesundheit: Arbeitsproduktivität	CHF 42'000'000	CHF 106'000'000	CHF 116'000'000	Unternehmen
Energie: Zusatzkosten Kühlen, Heizen	-CHF 72'000'000	CHF 337'000'000	CHF 347'000'000	Private und Unternehmen
Gebäude und Infrastruktur	CHF 23'000'000	CHF 35'000'000	CHF 35'000'000	Kanton und Gebäudeversicherung
Gesamtkosten	CHF 94'000'000	CHF 841'000'000	CHF 873'000'000	
Gegenwartswert für die Jahre 2035-2149 auf das Basisjahr 2030 mit 1% diskontiert (Untergrenze, da Kosten 2035 für 2035-2049 und die Kosten 2060 für 2050-2149 gleichbleibend angesetzt wurden)				
	Kosten starken Klimawandels: RCP 8.5 vs 2.6 mit WIE ohne Adaptation	Kosteneinsparungen durch Adaptation in RCP 8.5 (noch mit WIE)	Kosteneinsparung durch Adaptation in RCP 8.5 inkl. Vermeidung WIE	Kostenträger
Gesundheit: Mortalität	CHF 625'000'000	CHF 1'576'000'000	CHF 1'624'000'000	Private
Gesundheit: Arbeitsproduktivität	CHF 263'000'000	CHF 472'000'000	CHF 508'000'000	Unternehmen
Energie: Zusatzkosten Kühlen, Heizen	-CHF 296'000'000	CHF 1'660'000'000	CHF 1'723'000'000	Private und Unternehmen
Gebäude und Infrastruktur	CHF 154'000'000	CHF 232'000'000	CHF 232'000'000	Kanton und Gebäudeversicherung
Gesamtkosten	CHF 747'000'000	CHF 3'941'000'000	CHF 4'087'000'000	

Tabelle 2: Berechnete Kosten (gerundet) nach Bereich und im Total, WIE bezeichnet den Wärmeinseleffekt.

Es ist zu beachten, dass die vorliegende Studie keine abschliessende Einschätzung der Gesamtkosten der Klimafolgen für den Kanton Basel-Stadt macht. Es wurden zwar bedeutende Kostenblöcke in drei Bereichen berechnet, weitere Kosten in diesen Bereichen und Kosten, welche in anderen Bereichen anfallen, konnten aber im Rahmen dieser Studie nicht analysiert werden.

Im Rahmen der hier bestimmten Kosten sind mehrere Punkte zu bemerken:

- Bis 2035 fallen nur geringe Kosten an und dementsprechend haben Adaptationsmassnahmen auch nur einen geringen Nutzen. Dies sollte aber nicht so interpretiert werden, dass sich bis 2035 Massnahmen nicht lohnen. Alle Mitigationsmassnahmen und viele Adaptationsmassnahmen benötigen viele Jahre bis zu einer vollen Entfaltung der Wirkung und können daher nicht lange aufgeschoben werden, wenn sie bis 2050 Wirkung zeigen sollen.
- Während die Kosten des Klimawandels vor allem im Bereich Gesundheit anfallen, resultiert ein vergleichsweise hoher Wert von Adaptationsmassnahmen aus dem Bereich Energie. Dies liegt daran, dass für Raumwärme und Kühlung insgesamt recht hohe Kosten anfallen, die unabhängig vom Klimawandel reduziert werden können.
- Schliesslich ist anzumerken, dass für den Vergleich mit einmaligen Investitionskosten von Mitigations- und Adaptationsmassnahmen die verwendete Diskontrate ein wichtiger Faktor ist (siehe Abschnitt 4). Dies ist ein typisches und unvermeidliches Ergebnis in Kostenabschätzungen über lange Zeithorizonte, wie sie im Kontext des Klimawandels immer auftreten.
- Auftragsgemäss wurden hier die Kosten eines stärkeren Klimawandels sowie mögliche Kosteneinsparungen durch Adaptationsmassnahmen abgeschätzt. Diese müssen in Relation zu den Kosten solcher Massnahmen gesehen werden, die in einer separaten Studie bestimmt werden.

Es ist wichtig anzumerken, dass die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angegebenen Werte (mit Ausnahme der Gegenwartswerte) als mittlere Werte pro Jahr zu verstehen sind; in Jahren mit grösseren Hitzewellen können die Kosten markant höher ausfallen. Ebenso zeigen die Detailangaben in den vorangegangenen Abschnitten, dass es erhebliche Unsicherheiten schon allein in den der Berechnung zugrundeliegenden Klimaprognosen gibt. Die Kosteneinschätzungen sollten daher vornehmlich als Einordnung der Grössenordnung der Kosten und der relativen Bedeutung einzelner Kostenkategorien gesehen werden.

Verglichen mit den quantitativen Einschätzungen von Infras und Egli Engineering (2015) sind die hier bestimmten Kosten deutlich niedriger. Dies liegt zum einen an der Berücksichtigung neuerer Studien zu Auswirkungen von Hitzetagen auf die Mortalität. Ebenso verwenden wir eine etwas stärker differenzierte Bewertung durch die Unterscheidung der Mortalität bei älteren und jüngeren Menschen. Würde der gleiche Ansatz wie in Infras und Egli Engineering (2015) verwendet werden, d.h. 5 Mio. CHF pro Todesfall ohne Unterscheidung nach Alter, wären die mortalitätsbedingten Kosten in unserer Rechnung ca. dreimal so hoch. Auch bei der Bestimmung der Arbeitsproduktivität sind die hier ermittelten Werte niedriger, da auch hier ein auf neueren Studien basierender Ansatz verwendet wird.

Eine weitere Studie, mit der unsere Abschätzungen verglichen werden können, ist Vöhringer et al. (2019), die eine Abschätzung der Kosten eines ausgeprägten und eines gebremsten Klimawandels auf der Basis eines Computable General Equilibrium Modells (CGE-Modell) für die Schweiz vornehmen. Die dort ermittelten Verluste am Bruttoinlandsprodukt betragen (für das Jahr 2060) 0.18-0.41% im Fall eines starken Klimawandels und 0.08-0.25% im Fall eines gebremsten

Klimawandels. Die Autoren ermitteln ebenfalls Wohlfahrtsverluste für die Schweiz, die bei starkem Klimawandel auf 3.5-8.8 Mrd. CHF pro Jahr und bei gebremstem Klimawandel auf 2.4-4.8 Mrd. CHF pro Jahr betragen.

Werden diese Kosten mittels der Bevölkerungszahl auf den Kanton Basel-Stadt übertragen (215'000 Personen im Kanton Basel-Stadt für das Jahr 2060, bei einer Gesamtbevölkerung von 10'600'000 in der Schweiz), ergeben sich Mehrkosten eines starken Klimawandels von 23-79 Mio. CHF pro Jahr (Tabelle 2 weist hier 15.1 Mio. CHF pro Jahr aus). Eine Umrechnung auf der Basis des Bruttoinlandsprodukts (37 Mrd. CHF, Wert von 2020, da eine Hochrechnung auf 2060 unter Einbezug des Klimawandels im Rahmen dieser Studie nicht möglich ist) ergäbe 37-59 Mio. CHF pro Jahr an Mehrkosten eines starken Klimawandels für den Kanton Basel-Stadt. Gegeben, dass wir nur exemplarisch einzelne Kosten bestimmen und die im Modell von Vöhringer et al. (2019) enthaltenen indirekten Effekte des Klimawandels (Preisänderungen, Effekte auf Importe und Exporte) nicht erfassen, zeigen unsere Berechnungen eine recht gute Übereinstimmung.

Ein wesentlicher Unterschied wird aber in der nach Kostenkategorie aufgegliederten Berechnung von Vöhringer et al. (2019, Tabelle 10) deutlich. Werden die Kosten für Mortalität, Produktivitätsverluste und Energie mittels der Bevölkerungszahl auf den Kanton Basel-Stadt übertragen, ergeben sich nach ihrer Berechnung Mehrkosten eines starken Klimawandels in Höhe von 40-89 Mio. CHF (verglichen mit den hier bestimmten 12 Mio. CHF ohne Gebäudeschäden). Wie im Vergleich zu Infras und Egli Engineering (2015), gehen die Unterschiede hier im Wesentlichen auf einen anderen Ansatz zur Berechnung der Kosten erhöhter Mortalität zurück; Vöhringer et al. (2019) setzen hier 6.5 Mio. CHF pro zusätzlichen Todesfall an, unabhängig vom Alter.

In Bezug auf die Zusammensetzung der Kosten weisen unsere Berechnungen eine recht gute Übereinstimmung mit Vöhringer et al. (2019) auf. Die Mehrkosten eines starken Klimawandels werden durch die Kosten erhöhter Mortalität dominiert, die Verluste an Arbeitsproduktivität sind kleiner und in etwa gleich hoch wie die eingesparten Energiekosten. Die weiteren in Vöhringer et al. (2019, Tabelle 10) ausgewiesenen Kosten sind entweder für den Kanton Basel-Stadt nicht direkt übertragbar (Tourismus) oder von geringer Bedeutung.

Diese Betrachtungen zeigen, dass unsere Kostenabschätzungen als eher konservativ bestimmte Kostenuntergrenze gesehen werden sollten. Die Ergebnisse sollten nicht als «Kosten des Klimawandels» interpretiert werden, sondern als Indikator, in welchen Bereichen besonders hohe Kosten zu erwarten sind und wo Adaptationsmassnahmen zur Reduktion dieser Kosten ergriffen werden können.

Zudem muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass insbesondere die Gegenwartswerte eine sehr konservativ bestimmte Untergrenze darstellen. Im RCP 8.5 Szenario werden die Klimaänderungen nach 2060 fortschreiten und damit höhere Kosten verursachen. Diese Werte dienen daher vornehmlich als Illustration für allfällige Vergleiche mit einmaligen Investitionskosten.

Schliesslich fokussiert die vorliegende Studie auf einige wenige Kostenkategorien, die in früheren Studien als bedeutsam ermittelt wurden. Sie erfasst damit aber nicht die Gesamtkosten eines Klimawandels. Die Studie von Infras und Egli Engineering (2015) gibt Einschätzungen zu weiteren Kosten an und unternimmt nebst quantitativen auch qualitative Einschätzungen. Im Bereich Gesundheit wird der Einfluss des Klimawandels auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten und Krankheitsüberträger (z.B. Zecken) erwähnt, sowie potenzielle Schäden durch Hochwasserereignisse und Kälte. Auch beschränkt sich unsere Studie auf die Effekte der Hitzebelastung auf die Gesundheit, weitere Elemente wie die Luftqualität oder Ozon haben jedoch auch gesundheitliche Konsequenzen. Für eine Berücksichtigung von Ozon in der

Gesundheitskostenberechnung verweisen wir auf Infrac und Egli Engineering (2015). Im Energiebereich kann Klimawandel zusätzlich zum veränderten Kühl- und Heizenergiebedarf Auswirkungen auf die Wassernutzung für Kühlung und Wärme haben. Auswirkungen auf die sonstige Energieproduktion sind gemäss Infrac (2015) gering.

Gemäss Dodman et al. (2022) werden urbane Regionen besonders stark von Folgen des Klimawandels betroffen sein. Nebst direkten Effekten können Klimafolgen durch städtebauliche Charakteristiken und Raumgestaltung, sowie andere Risikofaktoren verstärkt werden, wie dies zum Beispiel beim urbanen Wärmeinseleffekt geschieht. Bevölkerungswachstum und Migration belasten städtische Räume zusätzlich und stellen zusätzliche Herausforderungen dar. Eine bewusste Berücksichtigung dieser Elemente bei Adaptationsmassnahmen können jedoch auch als Chancen genutzt werden, um Klimafolgekosten zu reduzieren.

Anhang

A.1 Vorgehensweise

Bereich Gesundheit

Die Daten, welche für die Einschätzung der Kosten der hitzebedingten Mortalität nötig sind, sind zum einen die prognostizierten Hitzetage im Kanton Basel-Stadt, welche wir den Schweizer Klimaszenarien CH2018 für das RCP 2.6 und 8.5 an der Station Basel-Binningen entnehmen. Um den urbanen Wärmeineffekt berücksichtigen zu können, verwenden wir zusätzlich die Prognosen, welche nach Höhenmeterkategorien unterschieden werden. Das urbane Zentrum der Stadt Basel lässt sich in die Höhenmeterkategorie bis 275 Meter über Meer einteilen. Nebst dem Klimaindikator ist zusätzlich die durchschnittliche tägliche Mortalität nötig. Diese berechnen wir mit Daten von 2000 bis 2021 vom BFS für die Sommermonate Mai bis September und unterscheiden dabei die unter und über 75-Jährigen.

Für die Schätzung der hitzebedingten Mortalität beruhen wir uns auf der Vorgehensweise, welche in Stalhandske et al. (2022) angewendet wird. Dabei wird die jährliche hitzebedingte Mortalität berechnet anhand der Anzahl Hitzetage im Jahr multipliziert mit dem Anteil der hitzebedingten Mortalität (AHM), welche anhand des relativen hitzebedingten Sterberisiko (RR) definiert ist (siehe Gleichung 1), und der durchschnittlichen täglichen Sterberate, welche hitzebereinigt ist. Wie Stalhandske et al. (2022) korrigieren wir die durchschnittliche tägliche Sterblichkeitsrate um das RR, um für die hitzebedingte Mortalität in den Daten zu korrigieren.

$$AHM = 1 - \frac{1}{RR}$$

Gleichung 1

Das RR entnehmen wir wie Stalhandske et al. (2022) von Ragettli et al. (2017, Table 3). Dabei übernehmen wir mehrere Unterscheidungen des RR. Zum einen betrachten wir nebst des RR für die Gesamtbevölkerung auch das RR für die Altersgruppe 0 bis 74 und die über 75-Jährigen. Zudem wurde das RR in Ragettli et al. (2017) separat basierend auf Daten vor und nach dem Hitzejahr 2003 berechnet. Da nach 2003 Massnahmen ergriffen wurden, um die Bevölkerung in Hitzeperioden besser zu schützen, dienen uns die RR vor und nach 2003 als Werte, welche wir für die Berechnung der Klimafolgekosten ohne und mit Adaptationsmassnahmen verwenden können.

Die hitzebedingte jährliche Mortalität (bedingt durch Hitzetage) quantifizieren wir anhand dem Wert der verlorenen Lebensjahre («value of life years lost», VLYL). Wir übernehmen den VLYL von 220'000 CHF aus EcoPlan (2016), welcher auf einer Studie der OECD (2012) beruht und basierend auf dem Wert eines statistischen Lebens («statistical value of life») berechnet wurde. Um eine Überschätzung der Kosten zu vermeiden, berücksichtigen wir die Mortalität separat für die Bevölkerungsgruppe unter und über 75 Jahren. Die Kosten eines Todesfalles werden schliesslich aufgrund der Differenz zwischen der Lebenserwartung und dem Durchschnittsalter der jeweiligen Bevölkerungsgruppe multipliziert mit dem VLYL berechnet.

Der Arbeitsproduktivitätsverlust durch Hitzebelastung berechnen wir aufgrund der Hothaps Funktion («Exposure-Response Function»), welche in Orlov et al. (2020) für drei verschiedene Kategorien von Arbeitsintensität kalibriert wurde. Die Funktion setzt die Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) in Relation zur Arbeitsfähigkeit, wodurch sich der Arbeitsproduktivitätsverlust einschätzen lässt:

$$\text{Arbeitsfähigkeit} = 0.1 + \frac{0.9}{\left(1 + \frac{WBGT}{\alpha_1}\right)^{\alpha_2}}$$

Gleichung 2

Die Werte von α_1 und α_2 in Gleichung 2 sind für drei Kategorien von Arbeitsintensität geschätzt, wobei eine tiefe Intensität mit 200 W, eine mittlere Intensität mit 300 W und eine hohe Intensität mit 400 W unterschieden wird. Die hohe Intensität ordnen wir dem Wirtschaftssektor 1, die mittlere dem Sektor 2 und die tiefe dem Sektor 3 zu.

Da wir nicht direkt über Daten für die WBGT verfügen, verwenden wir den Schwellenwert der Wet Bulb Temperature (WBT), welcher gemäss Burgstall et al. (2019) in Basel für eine Hitzewarnung verwendet wird. Für die Umrechnung der WBT in $WBGT_{\text{shade}}$ und $WBGT_{\text{sun}}$ folgen wir den vereinfachten Formeln von Dasgupta et al. (2021). Dabei nehmen wir eine Temperatur von 30 Grad Celsius an und berechnen $WBGT_{\text{shade}}$ für den zweiten Wirtschaftssektor und $WBGT_{\text{sun}}$ für den ersten Sektor.

Zusätzlich verwenden wir Daten über die Vollzeitäquivalente in den drei Wirtschaftssektoren und die Szenarien der arbeitenden Bevölkerung bis 2050, um die Vollzeitäquivalente für die Zeitperioden der Klimaszenarien proportional hochrechnen zu können. Unter der Annahme eines Arbeitstages mit 8 Stunden lassen sich die täglichen Arbeitsstunden pro Sektor von allen Beschäftigten berechnen.

Der Arbeitsproduktivitätsverlust, den wir anhand der Hothaps Funktion schätzen, wenden wir schlussendlich auf die täglichen Arbeitsstunden pro Sektor an, um den täglichen Verlust an Arbeitsstunden aller Beschäftigten zu berechnen. Für die Monetarisierung verwenden wir die durchschnittlichen Stundenlöhne, welche auf den monatlichen Bruttolöhnen im Jahr 2020 (2008 im Falle des ersten Sektors aufgrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit) beruhen.

Der jährliche Produktivitätsverlust berechnet sich schlussendlich aufgrund der Anzahl Hitzetage multipliziert mit dem täglichen Arbeitsstundenproduktivitätsverlust an einem Tag mit Hitzewarnung multipliziert mit der Anzahl Tagesarbeitsstunden (8h). Wir unterscheiden einen Fall ohne und mit WIE aufgrund der Anzahl Hitzetage unterschieden nach Höhenmeter, wie bereits zuvor für die Berechnung der Mortalität verwendet.

Für das Szenario mit Adaptation treffen wir folgende Annahmen: Im Sektor 1 sind Massnahmen sehr schwierig umsetzbar und daher vernachlässigt. Im Sektor 2 könne Massnahmen unternommen werden, um eine Reduktion der WBGT, welcher die Beschäftigten ausgesetzt sind, um 1 Grad bewirken zu können. Der dritte Sektor wird ebenfalls nicht betrachtet, da die Arbeitsproduktivitätsverluste bereits ohne Adaptation vernachlässigbar sind.

Bereich Energie

Unsere Berechnung des Heizenergiebedarfs beruht auf der empirischen Korrelation zwischen Heizgradtagen und dem Energiekonsum, welche von Winkler et al. (2014) beschrieben wird. Für den Raumwärmebedarf von Haushalten wird dabei beobachtet, dass eine Abnahme der Heizgradtage um 1% zu einer Reduktion des Energiekonsums um 0.5% führt. Für Gewerbe und Industrie wird hingegen eine Energiekonsumreduktion von 0.8% für eine einprozentige Abnahme der Heizgradtage angenommen.

Wir verwenden Daten des Kantons Basel-Stadt über den Endenergieverbrauch aufgeteilt auf die Bereiche «Wohnen» und «Nichtwohnen». Der Durchschnittswert im Zeitraum 2010 bis 2020 dient dabei als Referenzwert für unsere Berechnung. Der Anteil des Endenergieverbrauchs, welcher im Wohnbereich für die Raumwärme aufgewendet wird, beträgt gemäss Prognos (2022) 68.5%. Um diesen Anteil für den «Nichtwohnen»-Bereich zu berechnen, berücksichtigen wir die

unterschiedliche Nachfrage nach Raumwärme in der Industrie und im Dienstleistungssektor. Gemäss Prognos (2022) beträgt Raumwärme lediglich 9.5% des Endenergieverbrauchs der Industrie, aber 52.5% im Dienstleistungssektor. Um schliesslich die Endenergie im «Nichtwohnen»-Bereich zu berechnen, berücksichtigen wir zusätzlich, dass die Industrie 15% der Energiebezugsfläche im Kanton Basel-Stadt ausmacht und das restliche Gewerbe 85%. Diese Daten entnehmen wir dem Bericht über die energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt von Berger et al. (2011).

Für den Referenzwert der Heizgradtage, welcher für unsere Berechnungsmethode der Energiekonsumreduktion nötig ist, verwenden wir die durchschnittlichen Heizgradtage zwischen 2010 und 2020. Anschliessend eruieren wir die Abnahme der Heizgradtage zwischen dem Referenzwert und den Klimaszenarien. Für die Heizgradtage wird dabei keine Differenzierung nach dem WIE gemacht.

Die Kostenberechnung wird mittels des Preises für Fernwärme der IWB vorgenommen. Dabei verwenden wir einen Preis von 8.35 Rp./kWh exklusiv Mehrwertsteuer.

Das Vorgehen für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs beruht auf der prognostizierten Anzahl der Hitzetage in den Klimaszenarien CH2018 sowie der abgeschätzten Einsatzrate von Kühlgeräten. Der jährliche Kühlenergiebedarf berechnet sich aufgrund folgender Formel:

$$\text{Kühlenergiebedarf (kWh elektrisch)} = \text{Hitzetage} * \text{Einsatzrate} * \frac{\frac{\text{Kühlenergie}}{\text{m}^2}}{\text{Tag}} * \text{Energiebezugsfläche.}$$

Gleichung 3

Für eine Abschätzung der zukünftigen Einsatzrate von Kühlgeräten beruhen wir uns auf einer Studie von Mutschler et al. (2021). Dabei nehmen wir an, dass im Wohnbereich aufgrund der Kühlgradtage im RCP 2.6 Szenario die Einsatzrate bis 2060 5% und im RCP 8.5 10% betragen wird. Im Gewerbebereich unterscheiden wir Büroräumlichkeiten und Dienstleistungsgebäude. Wir übernehmen die Annahme von Mutschler et al. (2021), dass im Dienstleistungsbereich die Einsatzrate bis 2060 90% betragen wird. Bezüglich Büroräumlichkeiten lehnen wir uns an das hohe Einsatzszenario gemäss Mutschler et al. (2021), welches gut durch folgende Formel aus Henderson (2005) angenähert werden kann. Dabei berechnet sich die Einsatzrate gemäss

$$\text{Einsatzrate} = 94.4 - 117 * \exp(-0.00298 * \text{Kühlgradtage}).$$

Gleichung 4

Gegeben der unterschiedlichen Kühlgradtage in den Klimaszenarien und der Annahme, dass Büros und der Dienstleistungsbereich gleichmässig zur Einsatzrate im Gewerbebereich beitragen, ergeben sich Einsatzraten von 64.5% im Szenario RCP 2.6 und 73% im RCP 8.5 bis 2060. Unter der Annahme, dass Kühlgeräte bis 2035 noch beschränkt eingesetzt werden, weisen wir den Kühlenergiebedarf lediglich für 2060 aus.

Die Berechnung der benötigten Kühlenergie pro Quadratmeter und pro Tag basiert auf der Korrelation zwischen Temperatur und dem Kühlenergiebedarf aus Mutschler et al. (2021). Unter der Annahme einer Temperatur von 30 Grad an einem Hitzetag ergibt sich für den Wohnbereich eine tägliche Kühlenergie von 1.3 kWh/m² und für den Bürobereich von 1.2 kWh/m².¹ Der Wert im Bürobereich dient der vereinfachten Annahme der Kühlenergie im ganzen Gewerbebereich.

¹ Es wurde ein Umrechnungsfaktor von 3.6 zwischen thermischer und elektrischer Energie in kWh verwendet.

Zuletzt übernehmen wir Daten über die Energiebezugsfläche von Berger et al. (2011). Diese beträgt 923 ha im Wohnbereich und 821 ha im Gewerbe-, Industrie- und übrigen Bereich.

Die Kosten des Kühlenergiebedarfs werden aufgrund der Strompreise der IWB quantifiziert. Wir übernehmen einen Strompreis von 7.95 Rp./kWh Energie exklusiv Abgaben und Mehrwertsteuer für den Wohnbereich und 6.7 Rp./kWh für den Gewerbebereich.

Um eine Unterscheidung des Kühlenergiebedarfs ohne und mit WIE vornehmen zu können, verwenden wir die prognostizierte Anzahl Hitzetage an der Station Basel-Binningen und in der Höhenmeterkategorie unter 275 Meter, wie bereits im Gesundheitsbereich vorgenommen.

Als Adaptationsmassnahmen im Energiebereich berücksichtigen wir Massnahmen, welche zu einer Sanierungsrate von 2% führen. Dies ist die Sanierungsrate, welche in Berger et al. (2011) im Szenario 2000-Watt-Gesellschaft angenommen wurde. Zusätzlich nehmen wir an, dass sanierte Gebäude eine Energieeffizienz ähnlich dem Minergie-P Label erreichen, was den Wärme- und Kühlbedarf um 30% senkt gegenüber einem Gebäude, welches dem gesetzlichen Gebäudestandard entspricht. Mit diesen Annahmen ergibt sich ein Gebäudepark, der bis 2035 um 26% und bis 2060 um 55% saniert ist.

Der Energiebedarf in den Szenarien mit Adaptationsmassnahmen berechnet sich schliesslich aufgrund dem Anteil des noch unsanierten Gebäudeparks und des sanierten Gebäudeparks, welcher noch einen Energiebedarf von 70% gegenüber dem Referenzwert ohne Adaptationsmassnahmen hat. Dieses Vorgehen wenden wir sowohl für den Kühl- als auch den Heizenergiebedarf an.

A.2 Tabellen

RCP 2.6		Mortalität				Kosten			
Jahr	WIE	Adaptation	0-74-Jährige	über 75-Jährige	Gesamtbevölkerung	0-74-Jährige	über 75-Jährige	Gesamtbevölkerung	Gesamtbevölkerung
2035	ohne	ohne	1.6	8.4	10	CHF 15'624'730	CHF 1'110'810	CHF 16'735'540	CHF 16'735'540
2035	ohne	ohne	2	10.9	13	CHF 20'300'744	CHF 1'443'243	CHF 21'743'987	CHF 21'743'987
2035	ohne	ohne	2.5	13.7	16.2	CHF 25'432'955	CHF 1'808'107	CHF 27'241'062	CHF 27'241'062
2060	ohne	ohne	1.6	8.4	10	CHF 15'911'755	CHF 444'129	CHF 16'355'884	CHF 16'355'884
2060	ohne	ohne	1.9	10.2	12.1	CHF 19'244'623	CHF 537'155	CHF 19'781'779	CHF 19'781'779
2060	ohne	ohne	2.6	14.1	16.7	CHF 26'662'942	CHF 744'215	CHF 27'407'157	CHF 27'407'157
2035	mit	ohne	1.8	9.8	11.6	CHF 18'133'811	CHF 1'289'189	CHF 19'423'000	CHF 19'423'000
2035	mit	ohne	2.3	12.2	14.5	CHF 22'695'776	CHF 1'613'513	CHF 24'309'289	CHF 24'309'289
2035	mit	ohne	2.8	15.4	18.3	CHF 28'626'330	CHF 2'035'134	CHF 30'661'465	CHF 30'661'465
2060	mit	ohne	1.7	9.3	11	CHF 17'524'433	CHF 489'142	CHF 18'013'575	CHF 18'013'575
2060	mit	ohne	2.1	11.3	13.4	CHF 21'394'860	CHF 597'173	CHF 21'992'033	CHF 21'992'033
2060	mit	ohne	3	15.8	18.7	CHF 29'888'297	CHF 834'241	CHF 30'722'539	CHF 30'722'539
2035	mit	mit	0.4	7.4	7.8	CHF 4'306'286	CHF 979'474	CHF 5'285'760	CHF 5'285'760
2035	mit	mit	0.5	9.3	9.8	CHF 5'389'629	CHF 1'225'882	CHF 6'615'511	CHF 6'615'511
2035	mit	mit	0.7	11.7	12.4	CHF 6'797'974	CHF 1'546'213	CHF 8'344'187	CHF 8'344'187
2060	mit	mit	0.4	7	7.4	CHF 4'161'576	CHF 371'630	CHF 4'533'206	CHF 4'533'206
2060	mit	mit	0.5	8.6	9.1	CHF 5'080'697	CHF 453'708	CHF 5'534'405	CHF 5'534'405
2060	mit	mit	0.7	12	12.7	CHF 7'097'657	CHF 633'823	CHF 7'731'480	CHF 7'731'480
2035	ohne	mit	0.4	6.4	6.8	CHF 3'710'448	CHF 843'949	CHF 4'554'397	CHF 4'554'397
2035	ohne	mit	0.5	8.3	8.8	CHF 4'820'874	CHF 1'096'518	CHF 5'917'392	CHF 5'917'392
2035	ohne	mit	0.6	10.4	11	CHF 6'039'634	CHF 1'373'727	CHF 7'413'361	CHF 7'413'361
2060	ohne	mit	0.4	6.4	6.8	CHF 3'778'609	CHF 337'431	CHF 4'116'040	CHF 4'116'040
2060	ohne	mit	0.5	7.7	8.2	CHF 4'570'074	CHF 408'109	CHF 4'978'183	CHF 4'978'183
2060	ohne	mit	0.6	10.7	11.3	CHF 6'331'723	CHF 565'425	CHF 6'897'147	CHF 6'897'147

Tabelle 3: Berechnete Mortalität und diesbezügliche Kosten im Szenario RCP 2.6 unterteilt nach Altersgruppe und in der Gesamtbevölkerung.

RCP 8.5		Mortalität			Kosten			
Jahr	WIE	Adaptation	0-74-Jährige	über 75-Jährige	Gesamtbevölkerung	0-74-Jährige	über 75-Jährige	Gesamtbevölkerung
2035	ohne	ohne	1.7	9.2	10.8	CHF 16'993'320	CHF 1'208'108	CHF 18'201'427
2035	ohne	ohne	2.1	11.2	13.2	CHF 20'756'941	CHF 1'475'675	CHF 22'232'616
2035	ohne	ohne	2.8	15.2	18	CHF 28'170'134	CHF 2'002'702	CHF 30'172'836
2060	ohne	ohne	2.4	12.8	15.2	CHF 24'190'169	CHF 675'195	CHF 24'865'364
2060	ohne	ohne	3	15.9	18.9	CHF 30'103'321	CHF 840'243	CHF 30'943'564
2060	ohne	ohne	4.4	23.7	28.2	CHF 44'939'958	CHF 1'254'363	CHF 46'194'321
2035	mit	ohne	1.9	10.3	12.2	CHF 19'160'253	CHF 1'362'162	CHF 20'522'415
2035	mit	ohne	2.3	12.7	15.1	CHF 23'608'169	CHF 1'678'378	CHF 25'286'547
2035	mit	ohne	3.1	16.6	19.6	CHF 30'793'264	CHF 2'189'188	CHF 32'982'452
2060	mit	ohne	2.7	14.5	17.2	CHF 27'415'525	CHF 765'221	CHF 28'180'746
2060	mit	ohne	3.2	17.3	20.6	CHF 32'791'118	CHF 915'265	CHF 33'706'383
2060	mit	ohne	4.9	26.1	31	CHF 49'455'456	CHF 1'380'399	CHF 50'835'856
2035	mit	mit	0.5	7.8	8.3	CHF 4'550'038	CHF 1'034'916	CHF 5'584'954
2035	mit	mit	0.6	9.7	10.2	CHF 5'606'297	CHF 1'275'164	CHF 6'881'461
2035	mit	mit	0.7	12.6	13.3	CHF 7'312'562	CHF 1'663'257	CHF 8'975'819
2060	mit	mit	0.6	11	11.6	CHF 6'510'440	CHF 581'384	CHF 7'091'825
2060	mit	mit	0.8	13.2	13.9	CHF 7'786'997	CHF 695'381	CHF 8'482'379
2060	mit	mit	1.2	19.9	21	CHF 11'744'324	CHF 1'048'772	CHF 12'793'096
2035	ohne	mit	0.4	7	7.4	CHF 4'035'451	CHF 917'872	CHF 4'953'322
2035	ohne	mit	0.5	8.5	9	CHF 4'929'208	CHF 1'121'158	CHF 6'050'367
2035	ohne	mit	0.7	11.5	12.2	CHF 6'689'640	CHF 1'521'572	CHF 8'211'212
2060	ohne	mit	0.6	9.7	10.3	CHF 5'744'506	CHF 512'986	CHF 6'257'493
2060	ohne	mit	0.7	12.1	12.8	CHF 7'148'719	CHF 638'383	CHF 7'787'102
2060	ohne	mit	1.1	18	19.1	CHF 10'672'016	CHF 953'014	CHF 11'625'031

Tabelle 4: : Berechnete Mortalität und diesbezügliche Kosten im Szenario RCP 8.5 unterteilt nach Altersgruppe und in der Gesamtbevölkerung.

Szenario	Jahr	WIE	Adaptation	Kosten Produktivitätsverlust
RCP 2.6	2035	ohne	ohne	CHF 8'326'126
RCP 2.6	2035	mit	ohne	CHF 9'308'422
RCP 2.6	2035	mit	mit	CHF 4'308'376
RCP 2.6	2035	ohne	mit	CHF 3'853'723
RCP 2.6	2060	ohne	ohne	CHF 8'353'624
RCP 2.6	2060	mit	ohne	CHF 9'286'989
RCP 2.6	2060	mit	mit	CHF 4'298'456
RCP 2.6	2060	ohne	mit	CHF 3'866'450
RCP 8.5	2035	ohne	ohne	CHF 8'513'230
RCP 8.5	2035	mit	ohne	CHF 9'682'630
RCP 8.5	2035	mit	mit	CHF 4'481'577
RCP 8.5	2035	ohne	mit	CHF 3'940'324
RCP 8.5	2060	ohne	ohne	CHF 13'067'121
RCP 8.5	2060	mit	ohne	CHF 14'233'828
RCP 8.5	2060	mit	mit	CHF 6'588'086
RCP 8.5	2060	ohne	mit	CHF 6'048'079

Tabelle 5: Berechnete Arbeitsproduktivitätsverluste im Bereich Gesundheit.

Szenario	Jahr	WIE	Adaptation	Kühlenergiekonsum in GWh	Kosten
RCP 2.6	2060	ohne	ohne	124	CHF 8'464'672
RCP 2.6	2060	mit	ohne	138	CHF 9'410'445
RCP 2.6	2060	mit	mit	115	CHF 7'845'583
RCP 2.6	2060	ohne	mit	104	CHF 7'057'083
RCP 8.5	2060	ohne	ohne	235	CHF 16'129'467
RCP 8.5	2060	mit	ohne	255	CHF 17'569'599
RCP 8.5	2060	mit	mit	213	CHF 14'647'952
RCP 8.5	2060	ohne	mit	196	CHF 13'447'300

Tabelle 6: Berechneter Kühlenergiekonsum in GWh und diesbezügliche Kosten für Private und Unternehmen.

Szenario	Jahr	Adaptation	Heizenergiekonsum in GWh	Kosten
RCP 2.6	2035	ohne	2'014	CHF 168'176'472
RCP 2.6	2035	mit	1'856	CHF 154'986'514
RCP 2.6	2060	ohne	1'982	CHF 165'514'005
RCP 2.6	2060	mit	1'653	CHF 137'990'701
RCP 8.5	2035	ohne	1'965	CHF 164'091'373
RCP 8.5	2035	mit	1'811	CHF 151'221'807
RCP 8.5	2060	ohne	1'830	CHF 152'797'745
RCP 8.5	2060	mit	1'526	CHF 127'389'027

Tabelle 7: Berechneter Heizenergiekonsum in GWh und diesbezügliche Kosten für Private und Unternehmen.

Literaturverzeichnis

Berger, T., Genske, D., Hüsler, L., Jödecke, T., Menn, A., und A. Ruff. 2011. Energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt. *Basel, Kanton Basel-Stadt*, 205.

Burgstall, A., Casanueva, A., Kotlarski, S., und C. Schwierz. 2019. Heat warnings in Switzerland: Reassessing the choice of the current heat stress index. *International journal of environmental research and public health*, 16(15), 2684.

Dasgupta, P. 2008. Discounting climate change. *Journal of Risk and Uncertainty* 37, 141–169.

Dasgupta, S., van Maanen, N., Gosling, S. N., Piontek, F., Otto, C., und C.F. Schleussner. 2021. Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), 455-465.

Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng, und G. Ziervogel. 2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 907–1040.

Ecoplan. 2016. Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life).

Henderson, G. 2005. Home air conditioning in Europe—how much energy would we use if we became more like American households. *Proceedings of the European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE)*.

Infras und Egli Engineering. 2015. Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz: Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt.

Mutschler, R., Rüdüsüli, M., Heer, P., und S. Eggimann. 2021. Benchmarking cooling and heating energy demands considering climate change, population growth and cooling device uptake. *Applied Energy*, 288, 116636.

Nordhaus, W. 2019. Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. *American Economic Review*, 109(6), 1991-2014.

OECD. 2012. Recommended Value of a Statistical Life Numbers for Policy Analysis. Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies, 2, 125-136.

Orlov, A., Sillmann, J., Aunan, K., Kjellstrom, T., und A. Aaheim. 2020. Economic costs of heat-induced reductions in worker productivity due to global warming. *Global Environmental Change*, 63, 102087.

Prognos. 2022. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2021. Auswertung nach Verwendungszweck. Synthesebericht.

Ragetti, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C. und M. Rösli. 2017. Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental research*, 158, 703-709.

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

Regierungsrat, Kanton Basel-Stadt. 2021. Anpassung an den Klimawandel im Kanton Basel-Stadt. Handlungsfelder und Massnahmenplanung.

Stalhandske, Z., Nesa, V., Zumwald, M., Ragetti, M. S., Galimshina, A., Holthausen, N., Rösli, M. und D. N. Bresch. 2022. Projected impact of heat on mortality and labour productivity under climate change in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(8), 2531-2541.

Stern N., Peters S., Bakhshi V., Bowen A., Cameron C., Catovsky S., Crane D., Cruickshank S., Dietz S., Edmonson N., Garbett S.-L., Hamid L., Hoffman G., Ingram D., Jones B., Patmore N., Radcliffe H., Sathiyarajah R., Stock M., Taylor C., Vernon T., Wanjie H., und D. Zenghelis. 2006. Stern Review: The Economics of Climate Change, HM Treasury, London.

Vöhringer, F., Vielle, M., Thalmann, P., Frehner, A., Knoke, W., Stocker, D., Thurm, B. 2019. Cost and benefits of climate change in Switzerland. *Climate Change Economics*, 10(2), 1-34.

Winkler, R., Almer, C., Gonseth, C., Laurent-Lucchetti, J., Thalmann, P., und M. Vielle. 2014. *Energy consumption of buildings – Direct impacts of a warming climate and rebound effects*. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim.