

# Zunahme des Kühlenergiebedarfs durch grössere Hitzebelastung

Technischer Bericht als Ergänzung des Hauptberichts NCCS-Impacts P5  
- Die Kosten von ausgewählten Klimarisiken.

Juni 2026

Dieser Bericht wurde im Rahmen des Programms «Entscheidungsgrundlagen für den Umgang mit dem Klimawandel in der Schweiz: Informationen zu sektorenübergreifenden Themen (NCCS-Impacts)» als Teil des Projektes «Kosten der Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz mit und ohne globale Klimaschutzmassnahmen» erstellt. Die Leitung für dieses Projekt seitens NCCS liegt beim Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Projektnummer: 223004.00

Weitere Informationen: [www.nccs.admin.ch/impacts](http://www.nccs.admin.ch/impacts)

## Kontakt

Sustainaccount AG

[www.sustainaccount.com](http://www.sustainaccount.com)

[info@sustainaccount.com](mailto:info@sustainaccount.com)

## Zusammenfassung

Die zunehmende Hitzebelastung verändert den Energiebedarf des Schweizer Gebäudeparks grundlegend. Während mildere Winter den Heizenergiebedarf tendenziell senken, steigt die thermische Belastung in den Sommermonaten und damit der Bedarf an Kühlung. Der im NCCS-Impacts-P5-Projekt verwendete Ansatz quantifiziert diesen Effekt gebäudespezifisch für den heutigen Schweizer Gebäudepark und projiziert ihn auf das Jahr 2060 unter den Emissionsszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5. Der vorliegende technische Bericht dokumentiert die im Ergebnisbericht beschriebenen Annahmen und Rechenschritte und ergänzt sie um eine systematische Darstellung der Anpassungsmassnahmen aus der projektbegleitenden Massnahmentabelle.

Die Modellierung kombiniert Klimadaten aus CH2018 und den Klimaszenarien Raumklima mit dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) sowie geometrischen Informationen aus swissBUILDINGS<sup>3D</sup>. Der Gebäudepark wird über Archetypen nach Nutzung und Baualter abgebildet. Für Nichtwohngebäude wird zusätzlich zwischen leichten und mittelschweren physischen Tätigkeiten unterschieden. Eine energetische Erneuerungsrate von 1.5 % pro Jahr führt in der Modellannahme bis 2060 zu einem Portfolio, das zu rund 60 % aus heute bereits bestehenden und zu rund 40 % aus neu gebauten oder umfassend energetisch erneuerten Gebäuden besteht. Als zentraler thermischer Belastungsindikator werden Übertemperatur-Gradstunden (ÜGh) verwendet; Kühlbedarf entsteht, sobald die modellierte operative Raumtemperatur 21 °C überschreitet. Neben einem typischen künftigen Jahr (Design Reference Year, DRY) werden Extremjahre mit einer Häufigkeit von etwa 1 in 10 Jahren betrachtet.

Bei konstant gehaltenem Gebäudebestand ergibt sich für 2060 ein modellierter Kühlenergiebedarf von 8.0 TWh/Jahr unter RCP 2.6, 9.8 TWh/Jahr unter RCP 4.5 und 13.4 TWh/Jahr unter RCP 8.5. Die im Projekt als Schadenskosten klassifizierten Aufwendungen für aktive Kühlung umfassen annualisierte Investitionskosten für Kühlanlagen sowie Stromkosten. Die Investitionen werden linear über 30 Jahre verteilt; für den Strom wird ein Preis von 0.30 CHF/kWh in Preisen des Jahres 2023 angesetzt. Daraus ergeben sich über die drei betrachteten Gebäudekategorien jährliche Schadenskosten von rund 3.0 Mrd. CHF (RCP 2.6), 6.0 Mrd. CHF (RCP 4.5) und 9.9 Mrd. CHF (RCP 8.5) in einem mittleren Jahr.

Die Klimaanpassung wird über einen Mix aus sommerlichem Wärmeschutz und weiteren passiven beziehungsweise baulichen Massnahmen abgebildet. Für die quantitative Modellierung wird angenommen, dass 70 % des Gebäudeparks Anpassungsmassnahmen umsetzen und dass der verbleibende aktive Kühlbedarf gegenüber der Situation ohne Anpassung um 80 % reduziert wird. Die Anpassungskosten steigen mit dem Emissionsszenario von rund 1.0 Mrd. CHF/Jahr auf 2.4 Mrd. CHF/Jahr. Einschliesslich der verbleibenden Kühlkosten betragen die Gesamtkosten mit Anpassung rund 1.6, 2.9 beziehungsweise 4.4 Mrd. CHF/Jahr. Damit sinken die Gesamtkosten auf Portfolioebene gegenüber der Situation ohne Anpassung um rund 46 % unter RCP 2.6, 52 % unter RCP 4.5 und 55 % unter RCP 8.5. Im Wohngebäudebereich liegt die im Ergebnisbericht ausgewiesene Kostenreduktion bei rund zwei Dritteln, bei Nichtwohngebäuden bei etwa einem Drittel.

Die Resultate sind als szenariobasierte Grössenordnungen zu interpretieren. Wesentliche Unsicherheiten ergeben sich aus der vereinfachten Abbildung heterogener Gebäude durch Archetypen, fehlenden objektspezifischen Informationen zum tatsächlichen sommerlichen

Wärmeschutz, der Annahme einer grundsätzlich möglichen Nachrüstung mit Kühlung, statischen Preisen und dem Ausschluss von Bevölkerungs- und Gebäudebestandswachstum. Auch die genaue thermische Umrechnungsfunktion von ÜGh in Kühlenergie ist in den bereitgestellten Projektdokumenten nicht vollständig dokumentiert. Für eine vollständig reproduzierbare Neuimplementierung wären daher zusätzlich Modellcode, Parameterdateien und die konkret verwendeten Datensatzversionen erforderlich.

## Einleitung

Der Klimawandel führt in der Schweiz zu höheren Mittel- und Extremtemperaturen und zu häufigeren Hitzetagen und Tropennächten. Für Gebäude hat dies eine doppelte energetische Wirkung: Der Heizbedarf nimmt langfristig tendenziell ab, während der Kühlbedarf im Sommer zunimmt. Internationale Literatur zeigt, dass dieser Effekt bei fortschreitender Erwärmung zu einem bedeutenden Treiber des Strombedarfs werden kann (Isaac & van Vuuren, 2009; Santamouris, 2016; IEA, 2018). Für die Schweiz weisen die Klimaszenarien Raumklima darauf hin, dass die sommerliche thermische Belastung von Innenräumen insbesondere in tiefen Lagen und dicht bebauten Gebieten zunimmt (Meteo Schweiz, SIA & HSLU, 2022).

Der Endenergiebedarf für Kühlung ist in der Schweiz bereits gestiegen. Der Ergebnisbericht weist für das Jahr 2000 rund 1.1 TWh und für 2023 rund 1.7 TWh aus (BFE, 2024b). Dieser beobachtete Anstieg ist nicht ausschliesslich klimatisch bedingt, sondern reflektiert auch Veränderungen des Gebäudeparks und der Nutzung. Die NCCS-Modellierung trennt diese Effekte bewusst: Für die Projektion auf 2060 wird der Gebäudebestand in der Aggregation konstant gehalten, damit der klimatische Beitrag sichtbar bleibt. Sozioökonomische Veränderungen wie Bevölkerungswachstum oder zusätzliche Bautätigkeit werden nicht als Treiber der Ergebnisse modelliert.

Die ökonomische Interpretation folgt einer projektspezifischen Systematik. Die Installation und der Betrieb aktiver Kühlung werden als Schadenskosten verstanden, weil sie als zusätzlicher Aufwand entstehen, um ein mit dem Referenzklima vergleichbares Innenraumtemperaturniveau aufrechtzuerhalten. Passive und bauliche Massnahmen, die diesen zusätzlichen Kühlbedarf vermeiden oder reduzieren, werden dagegen als Anpassungskosten klassifiziert. Diese Abgrenzung ist für die Interpretation der Resultate zentral: Es handelt sich bei den «Schadenskosten» nicht um physische Gebäudeschäden, sondern um klimabedingte Zusatzaufwendungen zur Aufrechterhaltung thermischer Nutzbarkeit und Komfortbedingungen.

Der vorliegende Technische Bericht konkretisiert die Methodik und Annahmen des Hauptberichts für das Klimarisiko «Zunahme Kühlenergiebedarf durch grössere Hitzebelastung». Er übernimmt die dort ausgewiesenen Ergebnisse unverändert, strukturiert die Modellierungsschritte reproduzierbar und verknüpft sie mit der Massnahmentabelle des Projekts.

## Methodik

### Ausgangslage

Die thermische Performance des Schweizer Gebäudeparks ist heterogen. Alter, Nutzung, Bauweise, Verglasungsanteil, Orientierung, Wärmespeicherfähigkeit, Verschattung, Lüftung und lokale klimatische Bedingungen bestimmen, wie stark ein Gebäude während einer Hitzeperiode aufheizt. Eine schweizweite Modellierung muss diese Vielfalt auf wenige verfügbare, national konsistente Merkmale reduzieren. Der im Projekt gewählte Ansatz arbeitet deshalb mit Gebäude-Archetypen, die im Wesentlichen über Nutzung und Bauperiode definiert werden. Für die räumliche Zuordnung und Aggregation werden die nationalen Gebäudedaten mit hochaufgelösten Klimainformationen verbunden.

Für die Analyse werden Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschieden. Die Kategorie Wohnen umfasst reine Wohnimmobilien beziehungsweise Gebäude mit nur geringem Anteil anderer Nutzungen. Nichtwohngebäude umfassen unter anderem Büros, Schulen, Verwaltungsgebäude und weitere gewerbliche Nutzungen. Für die Berechnung des aktiven Kühlenergiebedarfs wird im Nichtwohnbereich zusätzlich zwischen Gebäuden mit leichter und mit mittelschwerer physischer Tätigkeit unterschieden. Diese Einteilung orientiert sich an Stalhandske et al. (2022) und dient dazu, unterschiedliche interne Belastungs- und Nutzungsprofile zumindest in vereinfachter Form abzubilden.

Die Modellierung bezieht sich auf den heute vorhandenen Gebäudepark, berücksichtigt aber eine fortlaufende energetische Erneuerung. Der Ergebnisbericht legt eine energetische Erneuerungsrate von 1.5 % pro Jahr zugrunde (BFE, 2024a). Unter dieser Annahme werden bis 2060 rund 40 % des Portfolios als neu gebaut oder umfassend energetisch saniert betrachtet; rund 60 % entsprechen dem bestehenden Gebäudebestand. Die Annahme bildet eine autonome technische Entwicklung des Gebäudeparks ab, ohne zusätzliche, spezifisch hitzeorientierte Architekturstandards vorwegzunehmen.

### Modellierung des Klimaeinflusses

Die Modellierung verknüpft die lokale Entwicklung der sommerlichen Durchschnitts- und Höchsttemperaturen mit den Eigenschaften der Gebäude. Die Klimaseite basiert auf CH2018 sowie auf den «Klimaszenarien Raumklima» von MeteoSchweiz, SIA und HSLU. Diese stellen stundenaufgelöste Jahresgänge für ein typisches künftiges Jahr (Design Reference Year, DRY) sowie für Extremjahre bereit. Die Zukunftsperiode orientiert sich an 2060 beziehungsweise am Zeitraum 2045-2074. Die drei RCP-Szenarien bilden konsequenten globalen Klimaschutz (RCP 2.6), einen mittleren Pfad (RCP 4.5) und einen Pfad ohne globalen Klimaschutz (RCP 8.5) ab.

Die Gebäudeseite verwendet das Eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) für Baujahr und Nutzungskategorie sowie swissBUILDINGS<sup>3</sup>D 3.0 für geometrische Informationen. Die Geometriedaten dienen insbesondere der Ableitung von Gebäudekubatur, Flächen und potenziellen Orientierungsinformationen und werden später auch zur Skalierung von Anpassungskosten verwendet.

### Modellierungskette Kühlenergiebedarf

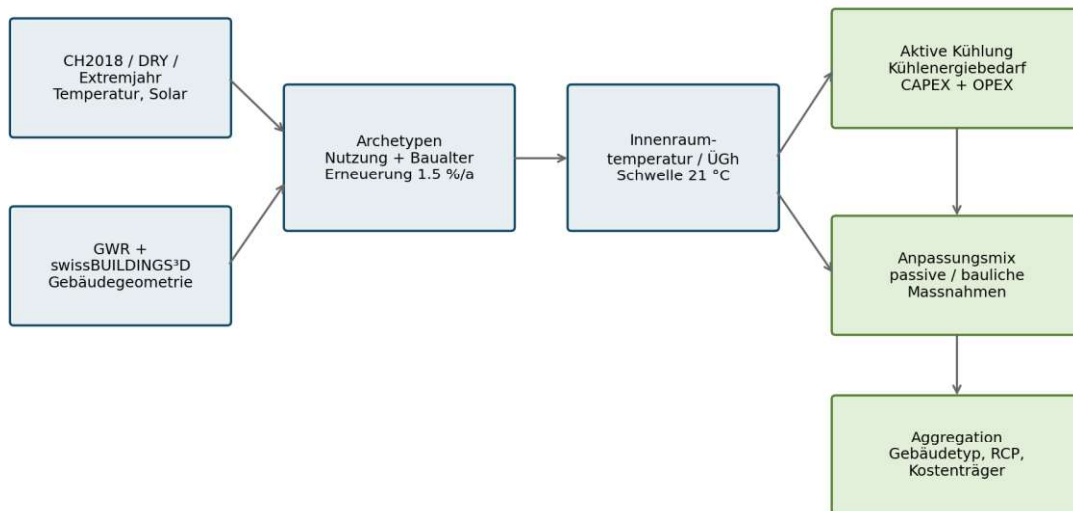


Abbildung 1: Schematische Modellierungskette des Klimarisikos Kühlenergiebedarf. Quelle: eigene Darstellung.

### Thermischer Belastungsindikator: Übertemperatur-Gradstunden

Zentraler Auswirkungsindikator sind Übertemperatur-Gradstunden (ÜGh). Sie erfassen nicht nur, ob eine Temperaturschwelle überschritten wird, sondern auch Dauer und Intensität der Überschreitung. Kühlbedarf wird ausgelöst, sobald die modellierte operative Raumtemperatur die Schwelle von 26 °C überschreitet. Die lange Zeitbewertung orientiert sich gemäss Ergebnisbericht an gebräuchlichen Komfortkriterien und EN 16798-1; für die energetische Berechnung wird zusätzlich EN ISO 52016-1:2017 als Referenz verwendet.

$$\dot{U}Gh(b, s) = \sum_t \max(0, T_{op}(b, s, t) - 26 \text{ °C}) \cdot \Delta t$$

b = Gebäude beziehungsweise Archetyp; s = Klimaszenario; t = Zeitschritt (stündlich)

Je höher die operative Raumtemperatur über 26 °C liegt und je länger die Überschreitung anhält, desto höher ist die thermische Belastung. Mittels gebäudespezifischen Funktionen werden ÜGh in elektrische Kühlenergiemengen überführt werden. Die Umrechnung der thermischen Belastung in Kühlenergie orientiert sich am ClimaBau-Ansatz (Settembrini et al., 2017). Der Klimakältebedarf wird als diejenige Nutzenergie interpretiert, die erforderlich ist, um während der Sommerperiode eine maximale operative Raumtemperatur von 26 °C einzuhalten. Für die schweizweite Modellierung wird dieser Zusammenhang über archetypspezifische, an den ClimaBau-Simulationen kalibrierte Koeffizienten zwischen Übertemperatur-Gradstunden und spezifischem Klimakältebedarf approximiert. Die Umrechnung der thermischen Nutzenergie in elektrischen Endenergiebedarf erfolgt anschliessend über die saisonale Leistungszahl des angenommenen Kühlsystems.

Die Ergebnisse aus ClimaBau werden anschliessend genutzt, um für jeden Gebäudearchetyp einen spezifischen Zusammenhang zwischen thermischer Überhitzung und notwendiger Kühlenergie zu kalibrieren:

$$\kappa_b = \frac{q_{K,b}}{\dot{U}Gh_b}$$

wobei

- $\kappa_b$  der archetypspezifische Umrechnungskoeffizient in  $\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \text{ K h})}$  ist,
- $q_{K,b}$  der von ClimaBau mit IDA ICE berechnete spezifische Klimakältebedarf in  $\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \text{ a})}$  ist.

Damit ergibt sich für ein Gebäude beziehungsweise einen Archetyp:

$$Q_{K,b,s} = \kappa_b \cdot \dot{U}Gh_{b,s} \cdot A_{EBF,b}$$

mit  $A_{EBF}$  als Energiebezugsfläche.

### Von Klimakältebedarf zu elektrischem Energiebedarf

Der elektrische Energiebedarf einer konkreten Kühlanlage ergibt sich wie folgt :

$$E_{el,b,s} = \frac{Q_{K,b,s}}{SPF_{K,b}}$$

bzw. bei Verwendung einer saisonalen Kühlleistungszahl:

$$E_{el,b,s} = \frac{\kappa_b \dot{U}Gh_{b,s} A_{EBF,b}}{SPF_{K,b}}$$

SPF steht für den *Seasonal Performance Factor* der Kühlung für den Gebäudearchetyp bzw. das Kühlsystem  $b$  (deutsch: „Jahresarbeitszahl im Kühlbetrieb“) und beschreibt eine von der eingesetzten Kühltechnik abhängige Effizienz der Kühlung.

Der Stromkostenansatz wird anschliessend wie folgt angewandt:

$$K_{\text{Strom},b,s} = E_{el,b,s} \cdot p_{el}$$

mit  $p_{el} = 0.30 \text{ CHF/kWh}$  als Annahme im Projekt.

### Klimadaten: DRY und Extremjahr

Für die Ergebnisdarstellung werden zwei Belastungsniveaus unterschieden. Das DRY repräsentiert ein typisches künftiges Jahr und dient als Basis für die regulären jährlichen Betriebskosten. Zusätzlich wird ein Extremjahr mit einer Häufigkeit von ungefähr 1 in 10 Jahren betrachtet. Diese Unterscheidung ist insbesondere für die Betriebskosten relevant: Die Investition in Kühltechnik wird

als langfristige Entscheidung betrachtet und ändert sich nicht wegen eines einzelnen Extremjahres; der Stromverbrauch steigt dagegen in einem sehr heissen Jahr unmittelbar an.

Das Extremjahr ist damit kein separates Emissionsszenario, sondern eine Belastungsvariante innerhalb eines Emissionsszenarios. Die dargestellten Werte in eckigen Klammern in den Kostentabellen des Hauptberichts bezeichnen die höheren OPEX in einem solchen Extremjahr. Diese Trennung ist methodisch wichtig, weil sie verhindert, dass ein einmaliges heisses Jahr unrealistisch als zusätzlicher Anlagenzubau interpretiert wird.

### **Gebäude-Archetypen und Erneuerung**

Die schweizweite Skalierbarkeit des Modells wird durch die Reduktion des Gebäudebestands auf Archetypen erreicht. Ein Archetyp steht für eine Gruppe von Gebäuden mit ähnlicher Nutzung und Bauperiode. Die verfügbaren Registerdaten ermöglichen eine robuste Zuordnung auf dieser Ebene, bilden aber nicht alle thermisch relevanten Eigenschaften eines einzelnen Gebäudes ab. Insbesondere fehlen in national konsistenter Form Angaben zu effektiver Verschattung, g-Werten der Verglasung, Luftwechsel, Nachtlüftung, internen Lasten, thermischer Masse, Anlagentechnik und tatsächlichem Nutzerverhalten.

Die Erneuerungsannahme von 1.5 % pro Jahr wirkt auf die Zuordnung der Bauqualität. Neu gebaute oder umfassend sanierte Gebäude werden in der Modelllogik als energetisch besserer Teil des Portfolios behandelt. Zugleich wird ausdrücklich keine zusätzliche klimaangepasste Architektur im Neubau unterstellt. Die Modellierung bildet damit weder eine Verschärfung zukünftiger Normen noch eine autonome stärkere Nutzung von Verschattung, Begrünung, passiver Nachtkühlung oder angepassten Grundrissen ab. Dadurch wird der Klimaeffekt gegenüber einem stärker anpassenden Neubaupfad tendenziell höher ausgewiesen.

### **Nicht berücksichtigte Aspekte**

- Klimaangepasste Architektur bei Neubau und Totalsanierung über die allgemeine energetische Erneuerung hinaus. Es wird weiterhin von einer im Grundsatz heutigen Bauweise ausgegangen.
- Verlagerung des künftigen Gebäudebestands auf neue Standorte oder höhere Lagen. Die räumliche Verteilung orientiert sich am heutigen Bestand.
- Lokalklimatische Verbesserungen im unmittelbaren Umfeld eines Gebäudes, beispielsweise zusätzliche Begrünung, Entsiegelung oder Kaltluftkorridore. Solche Massnahmen werden als Anpassungsoptionen diskutiert, aber nicht in den Baseline-Klimawirkungen vorweggenommen.
- Psychische und qualitative Auswirkungen sowohl der Hitze als auch einer zunehmenden Klimatisierung von Innenräumen, beispielsweise Lärm, Luftzug oder eingeschränkte Aufenthaltsqualität.
- Gebäudespezifische technische Grenzen für den Einbau aktiver Kühlung. Das Modell nimmt grundsätzlich an, dass jedes Gebäude nachgerüstet werden kann.
- Zusätzlicher prozessbedingter Wärmeeintrag in komplexen Gewerbe- und Industriegebäuden sowie besonders anspruchsvolle Nutzungen wie Spitäler, Rechenzentren oder Produktionshallen werden durch die Archetypen nur eingeschränkt repräsentiert.

## Limitationen und Unsicherheiten des Klimawirkungsmodells

Die grösste strukturelle Unsicherheit ergibt sich aus der Differenz zwischen den verfügbaren nationalen Gebäudedaten und den physikalisch relevanten Parametern eines thermischen Gebäudemodells. Baujahr, Nutzung und Geometrie sind gute Prädiktoren für eine grobe Typisierung, ersetzen aber keine dynamische Gebäudesimulation. Die Ergebnisse sind deshalb für Portfolio- und Szenarioaussagen geeignet, nicht für die Auslegung einer konkreten Anlage oder die Bewertung eines Einzelobjekts.

Hinzu kommt die Modellunsicherheit auf der Klimaseite. Das Projekt nutzt verschiedene Klimamodellketten und verdichtet sie in den Ergebnisdarstellungen zu Szenariowerten. Regionale Unterschiede bleiben relevant: Tieflagen, das Tessin und dicht bebaute Agglomerationen weisen stärkere Belastungen auf, während die Höhenlage den Kühlbedarf dämpft. Lokale Wärmeinseleffekte sind in den nationalen Klimadaten nur begrenzt objektscharf abgebildet. Für Quartiers- oder Gebäudestudien sollten deshalb lokale Stadtklimamodelle ergänzend eingesetzt werden.

## Potential zur Erweiterung des Klimawirkungsmodells

Die bestehende Modellierung ist als schweizweites Screening- und Kostenmodell konzipiert. Ihre Aussagekraft kann durch eine stärkere Kopplung von Klimadaten und dynamischer Gebäudesimulation deutlich erhöht werden. Prioritär sind folgende Erweiterungen:

- Dynamische thermische Simulation repräsentativer Archetypen: Für jede Baualters- und Nutzungsklasse können stundenaufgelöste Modelle mit expliziter thermischer Masse, solaren Gewinnen, Lüftung und internen Lasten hinterlegt werden. Die resultierenden Sensitivitätsfunktionen können anschliessend auf den nationalen Gebäudebestand übertragen werden.
- Objektspezifische Vulnerabilitätsparameter: Ergänzung um Fensterflächen, Glasanteile, Orientierung, vorhandenen Sonnenschutz, Dachtyp, Wärmeschutzstandard und vorhandene Kühl- beziehungsweise Lüftungstechnik. Für grosse Portfolios können diese Informationen durch Gebäude- und Fernerkundungsdaten approximiert werden.
- Stadtklimatische Korrekturfaktoren: Verknüpfung mit hochaufgelösten Hitze- und Kaltluftkarten, um urbane Wärmeinseln und lokale nächtliche Abkühlung besser abzubilden.
- Explizite Modellierung von Technologieeffizienz: COP/EER beziehungsweise Seasonal Energy Efficiency Ratio von Kühlanlagen sollten technologisch und nach Gebäudetyp differenziert werden. Damit lassen sich technische Fortschritte bis 2060 als Szenario berücksichtigen.
- Dynamische Anpassungspfade: Statt eines einzigen Zustands im Jahr 2060 kann der Zubau von Kühltechnik und passiven Massnahmen über die Zeit modelliert werden. Dies ermöglicht Investitionspfade, Lock-in-Effekte und die Bewertung frühzeitiger gegenüber später Anpassung.
- Kopplung an Stromsystem und Lastspitzen: Ein stundenaufgelöstes Kühlprofil kann mit Stromerzeugung, Netzauslastung und Strompreisen gekoppelt werden. Dies ist besonders relevant, weil Kühlsitzen zeitlich mit sehr heissen Perioden zusammenfallen und so Netzeffekte auslösen können.

## Ergebnisse der Klimawirkungsmodellierung

### Kühlenergiebedarf 2060

Der Ergebnisbericht weist einen deutlichen Anstieg des Kühlenergiebedarfs aus. Bei konstantem Gebäudebestand beträgt der landesweite Median für 2060 8.0 TWh/Jahr unter RCP 2.6, 9.8 TWh/Jahr unter RCP 4.5 und 13.4 TWh/Jahr unter RCP 8.5. Im Vergleich zum für 2023 genannten Wert von rund 1.7 TWh entspricht dies einer starken Zunahme, wobei der historische Vergleich nicht eins zu eins als Klimaeffekt interpretiert werden darf, da der beobachtete Wert auch die Entwicklung des Gebäudebestands enthält.

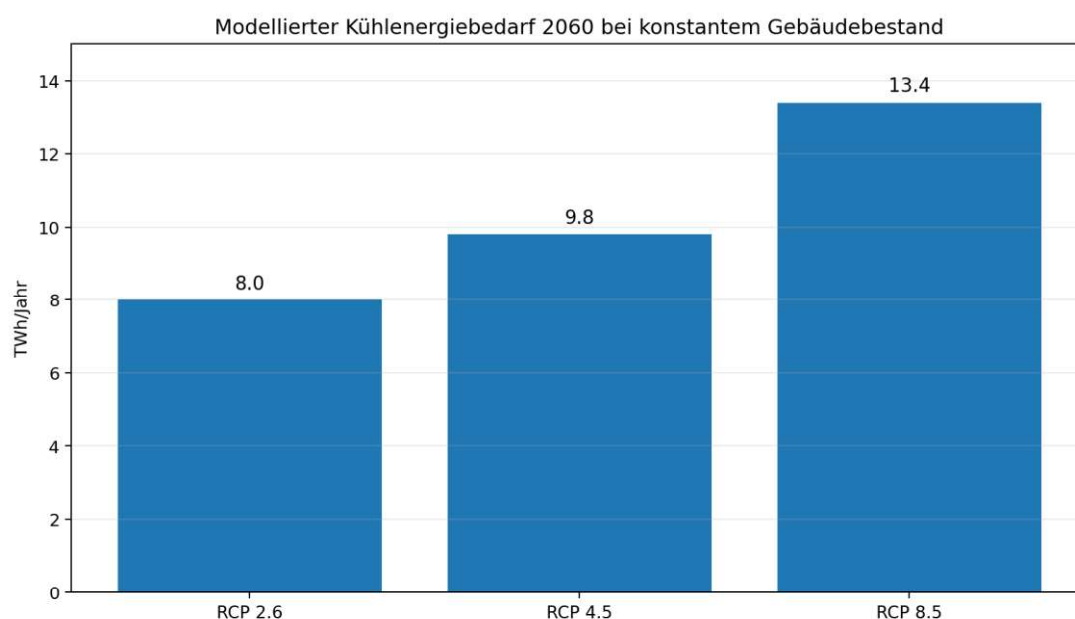


Abbildung 2: Modellierter Kühlenergiebedarf 2060 unter den drei Emissionsszenarien bei konstantem Gebäudebestand. Quelle: eigene Darstellung nach NCCS-P5 Ergebnisbericht.

Der Ergebnisbericht vergleicht diese Werte mit den Energieperspektiven 2050+ des BFE. Dort liegt der Endenergiebedarf für Raumkühlung um 2050 deutlich niedriger. Die Differenz ist methodisch erklärbar: Die NCCS-Analyse zielt bewusst auf eine weitgehend annahmefreie Abschätzung des physikalisch induzierten Kühlbedarfs bei breiter Möglichkeit aktiver Kühlung, während die Energieperspektiven Effizienzgewinne, technologische und strukturelle Entwicklungen sowie keine flächendeckende Klimatisierung berücksichtigen. Die NCCS-Ergebnisse sind deshalb nicht als alternative Strombedarfsprognose zu verstehen, sondern als Klimarisiko- und Kostenindikator unter den gewählten Systemgrenzen.

Räumlich ist der Kühlbedarf in tieferen Lagen und urbanen Verdichtungsräumen höher. Genferseeregion, Mittelland und Tessin werden im Ergebnisbericht als besonders belastete Regionen genannt. Die Höhenlage wirkt dämpfend; zugleich verstärken hohe Bebauungsdichte, Wärmespeicherung und geringe nächtliche Auskühlung die Innenraumbelastung. Die räumliche Heterogenität ist daher ein wichtiges Signal für regionale Priorisierung von Anpassungsinvestitionen.

## Vulnerable Gruppen und besondere Betroffenheit

Die ökonomische Belastung durch Kühlung ist nicht gleich verteilt. Personen mit tiefem sozioökonomischem Status sind besonders betroffen, weil sie häufiger in Wohnungen mit geringerem sommerlichem Wärmeschutz leben können und höhere Strom- oder Mietnebenkosten weniger gut tragen. Haushalte in Energiearmut können Kühlung reduzieren oder ganz vermeiden und sind damit zugleich stärker gesundheitlich exponiert. Diese Wirkung verbindet das Klimarisiko Kühlenergiebedarf unmittelbar mit dem Klimarisiko «Beeinträchtigung menschlicher Gesundheit durch grössere Hitzebelastung».

- Mietende in schlecht gedämmten Dach- oder Attikawohnungen, stark verglasten Gebäuden oder süd- und westorientierten Wohnungen haben häufig hohe thermische Belastungen, aber nur begrenzte Möglichkeiten für bauliche Investitionen. Dies ist ein klassisches Split-Incentive zwischen Eigentümerschaft und Nutzung.
- Ältere Menschen, Kleinkinder, Schwangere und chronisch kranke Personen sind stärker auf ausreichend kühle Innenräume angewiesen und können deshalb indirekt stärker von steigenden Kühlkosten betroffen sein.
- Pflege-, Sozial- und Gesundheitseinrichtungen sowie Schulen und Kindertagesstätten müssen thermisch sichere Innenräume gewährleisten. Bei zunehmender Hitze können daraus überproportionale Nachrüstungs- und Betriebskosten entstehen.
- Unternehmen mit hitzesensiblen Prozessen oder Kühlketten - etwa Lebensmittel, Gastronomie, Pharma, Medizin, Kosmetik sowie Server- und Recheninfrastruktur - können zusätzlich zu Komfortkosten mit Qualitäts- und Produktionsrisiken konfrontiert sein. Diese prozessspezifischen Risiken sind in der quantitativen Archetypenmodellierung nicht vollständig enthalten.
- Gebäude mit denkmal- oder baurechtlichen Restriktionen können passive oder fest installierte technische Lösungen nur eingeschränkt umsetzen; dadurch können Übergangslösungen teurer oder weniger effizient sein.

## Selektion von Anpassungsmassnahmen und Modellierung der Effektivität

### Allgemeines

Die Massnahmentabelle des Projekts unterscheidet geplante Anpassung durch öffentliche Akteure von autonomer Anpassung durch Private und Unternehmen. Für das Klimarisiko Kühlenergiebedarf stehen zwei Massnahmenpakete im Vordergrund: «Sommerlicher Wärmeschutz (Gebäude)» und «Städtebauliche Massnahmen (Lokalklima)». Der Ergebnisbericht verwendet für die quantitative Kostenrechnung einen Mix aus gebäudebezogenen, überwiegend passiven Massnahmen. Städtebauliche und institutionelle Massnahmen werden qualitativ berücksichtigt, weil ihre gebäudespezifische Wirkung und ihre Kosten nicht ausreichend direkt quantifizierbar sind.

Die Massnahmenbibliothek ergänzt diese übergeordneten Pakete durch konkrete technische Optionen. Sie enthält unter anderem Dämmung, aussenliegenden Sonnenschutz, reflektierende Materialien, begrünte Dächer und Fassaden, passive Belüftung, thermische Masse, natürliche Lüftung, geothermische Kühlung, Wärmepumpen und Fernkälte. Für einen Teil dieser Optionen sind

indikative CAPEX- und OPEX-Werte angegeben. Diese Werte sind als generische Grössenordnungen zu verstehen und nicht als objektspezifische Angebotspreise.

## Massnahmen auf Gebäudeebene

| Massnahme                                               | Kategorie | CAPEX<br>(indikativ)                    | OPEX<br>(indikativ)                       | Quelle in<br>Massnahmen-<br>tabelle |
|---------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Ausrichtung Hauptfassaden</b>                        | Baulich   | n.a.                                    | n.a.                                      | Sustainaccount                      |
| <b>Dämmung von Wänden,<br/>Fenstern und Dächern</b>     | Technisch | 85 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit   | 1.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | SIA 380/1                           |
| <b>Äussere Beschattung für<br/>Fenster</b>              | Technisch | 300 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 6.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | SIA 180                             |
| <b>Helle / reflektive Materialien</b>                   | Technisch | 22.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit | 1.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | SIA-Normen                          |
| <b>PV-Anlagen auf dem Dach</b>                          | Technisch | 300 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 3.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | BFE                                 |
| <b>Begrünte Dächer</b>                                  | Technisch | 160 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 7.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | BAFU                                |
| <b>Begrünte Fassaden</b>                                | Technisch | 115 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 6.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | BAFU                                |
| <b>Hohe Bepflanzung als<br/>Verschattung</b>            | Technisch | 35 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit   | 3.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | SGBC                                |
| <b>Passive Belüftung /<br/>thermische Schornsteine</b>  | Technisch | 60 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit   | 1.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | SIA-Normen                          |
| <b>Temperaturzonen</b>                                  | Baulich   | 12.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit | 0.75 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a | SIA-Normen                          |
| <b>Thermische Masse /<br/>Phasenwechsel-materialien</b> | Technisch | 45 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit   | 1.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | BAFU                                |
| <b>Natürliche Belüftung</b>                             | Baulich   | 15 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit   | 0.75 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a | Swiss Passive<br>House Group        |
| <b>Aktive Kühlung und<br/>Belüftung</b>                 | Technisch | 300 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 10 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a   | SWKI                                |
| <b>Geothermische Kühlung /<br/>Wärmepumpen</b>          | Technisch | 425 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 15 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a   | BFE                                 |
| <b>Anschluss an Fernkälte</b>                           | Technisch | 150 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit  | 7.5 CHF/m <sup>2</sup><br>bzw. Einheit·a  | kommunale<br>Versorgerdaten         |
| <b>Automatische Beschattung<br/>Privatwohnungen</b>     | Technisch | n.a.                                    | n.a.                                      | Sustainaccount                      |
| <b>Automatische Beschattung<br/>Bürogebäude</b>         | Technisch | n.a.                                    | n.a.                                      | Sustainaccount                      |
| <b>Dachbegrünung<br/>Wohngebäude</b>                    | Baulich   | n.a.                                    | n.a.                                      | Sustainaccount                      |

|                                      |         |      |      |                |
|--------------------------------------|---------|------|------|----------------|
| <b>Dachbegrünung<br/>Bürogebäude</b> | Baulich | n.a. | n.a. | Sustainaccount |
|--------------------------------------|---------|------|------|----------------|

Tabelle 1: Detaillierte gebäudebezogene Massnahmen und indikative Kostenangaben. Quelle: NCCS -Impacts P5 Massnahmentabelle

Die Tabelle zeigt bewusst die gesamte technische Bandbreite und nicht nur den in der quantitativen Modellierung verwendeten Massnahmenmix. Einzelne Massnahmen können dasselbe thermische Wirkprinzip adressieren. Beispielsweise reduzieren sowohl aussenliegende Beschattung als auch Sonnenschutzverglasung solare Gewinne. Eine additive Kombination der Einzelwirkungen würde deshalb den Effekt überschätzen. Umgekehrt können sich Nachtlüftung und thermische Masse gegenseitig verstärken. Das Projekt wählt daher einen robusten Mix mit möglichst geringen Überschneidungen, ohne ein vollständig gekoppeltes thermisches Optimierungsmodell zu implementieren.

## Geplante Anpassung und städtebauliche Massnahmen

| Akteur                        | Typ                            | Beispiele                                                                            | Wirksamkeit<br>laut Tabelle             | Kosten<br>qualitativ |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| <b>Bund</b>                   | Forschung /<br>Datensätze      | Forschungsprogramme zur<br>Hitzebelastung; zeitlich<br>hochaufgelöste Klimaszenarien | indirekt                                | tief                 |
| <b>Bund</b>                   | Normen /<br>Gebäude            | Integration in SIA-Normierung;<br>lokalklimatische Aspekte bei<br>Bundesbauten       | indirekt                                | tief bis<br>mittel   |
| <b>Gemeinden</b>              | Gebäude /<br>Kommunikat<br>ion | klimaangepasste kommunale<br>Bauten; Leuchtturmprojekte;<br>Informationsprogramme    | indirekt                                | tief                 |
| <b>Gemeinden</b>              | Lokalklima                     | städtebauliche Massnahmen<br>gegen Hitzestau und<br>Wärmeinseln                      | direkte, mittlere<br>Wirkung            | mittel               |
| <b>Kantone</b>                | Vorgaben                       | Vorgaben zu klimaangepassten<br>Gebäuden                                             | indirekt                                | tief                 |
| <b>Kantone</b>                | Klimakarten<br>/ Planung       | Klimakarten, Integration in Richt-<br>und Bauprozesse                                | indirekt bis<br>direkte hohe<br>Wirkung | tief bis<br>mittel   |
| <b>Kantone</b>                | Sensibilisier<br>ung           | Programme für Stadtplanung,<br>Architektur und Baubranche                            | indirekt                                | tief                 |
| <b>Privatwirtsch<br/>haft</b> | Betrieb                        | nächtliche Kühlung /<br>automatisierte Nachtlüftung                                  | direkte, mittlere<br>Wirkung            | tief                 |

Tabelle 2: Auswahl geplanter und autonomer Anpassungsmassnahmen für HI-Kühl. Quelle: NCCS-Impacts P5 Massnahmentabelle.

## Selektionskriterien

Für die Wahl eines Anpassungsportfolios sind technische und ökonomische Kriterien gemeinsam zu betrachten. Aus den Bewertungen der Massnahmentabelle und der Logik der Modellierung ergeben sich insbesondere folgende Kriterien:

- **Wirksamkeit:** Beitrag zur Reduktion von solaren und internen Wärmelasten beziehungsweise zur Verbesserung der nächtlichen Abkühlung. Massnahmen mit direkter Wirkung auf den Kühlenergiebedarf sind für die quantitative Modellierung prioritär.
- **Quantifizierbarkeit:** Es müssen sowohl Kosten als auch eine hinreichend belastbare Wirkung auf den Kühlbedarf vorliegen. Rein institutionelle oder stark kontextabhängige Massnahmen bleiben qualitativ.
- **Technische Umsetzbarkeit:** Nicht jede Massnahme ist für jeden Gebäudetyp geeignet. Dachbegrünung setzt beispielsweise geeignete Dachkonstruktion voraus; aussenliegender Sonnenschutz kann bei Fassaden- oder Denkmalschutz eingeschränkt sein.
- **Interaktion der Massnahmen:** Doppelzählungen bei Massnahmen mit demselben Wirkprinzip sollen vermieden werden. Ergänzende Kombinationen - etwa Verschattung plus Nachtlüftung - sind dagegen sinnvoll.
- **Lebenszyklus und Flexibilität:** Bauliche Eingriffe haben lange Lebensdauern und können Lock-in erzeugen. Betriebsstrategien sind flexibler, ihre Wirksamkeit kann aber bei sehr hohen Aussentemperaturen begrenzt sein.
- **Zielkonflikte mit Klimaschutz:** Zusätzliche aktive Kühlung erhöht den Strombedarf. Passive Massnahmen sind deshalb grundsätzlich vorzuziehen; verbleibender Strombedarf sollte möglichst emissionsarm gedeckt werden.
- **Verteilungsgerechtigkeit:** Eigentümerinnen und Eigentümer können investieren, Mietende tragen aber häufig einen Teil der Betriebskosten. Förder- und Regulierungsinstrumente müssen daher Split-Incentives und Energiearmut berücksichtigen.

## Modellierung der Anpassungswirkung

Der Ergebnisbericht beschreibt eine vereinfachte Wirkungsmodellierung. Für quantifizierbare Massnahmen wird die Reduktion des Kühlenergiebedarfs gegenüber der Baseline bestimmt. Die Massnahmen werden nicht als vollständiges thermisches Gebäudemodell simultan simuliert; stattdessen wird ein Massnahmenmix gebildet. Der Gesamtwirkung wird ein residualer Kühlenergiebedarf gegenübergestellt, der weiterhin durch aktive Kühlung gedeckt werden muss.

Für die Kostenrechnung wird ein Durchdringungsfaktor von 70 % angesetzt. Rund 30 % der Gebäude setzen in diesem Szenario keine Anpassungsmassnahmen um. Der Ergebnisbericht legt für den mit Anpassung verbleibenden Schaden eine Reduktion von 80 % gegenüber der Situation ohne Anpassung fest. Dieser Wert ist als Modellannahme beziehungsweise Zielwirkung des ausgewählten Massnahmenmixes zu verstehen und nicht als empirisch für jedes Einzelgebäude nachgewiesener Effekt.

Residualer Kühlbedarf mit Anpassung  $\approx$  20 % des Kühlbedarfs ohne Anpassung (Modellannahme)

Durchdringung des Anpassungsmixes = 70 % des Gebäudeparks

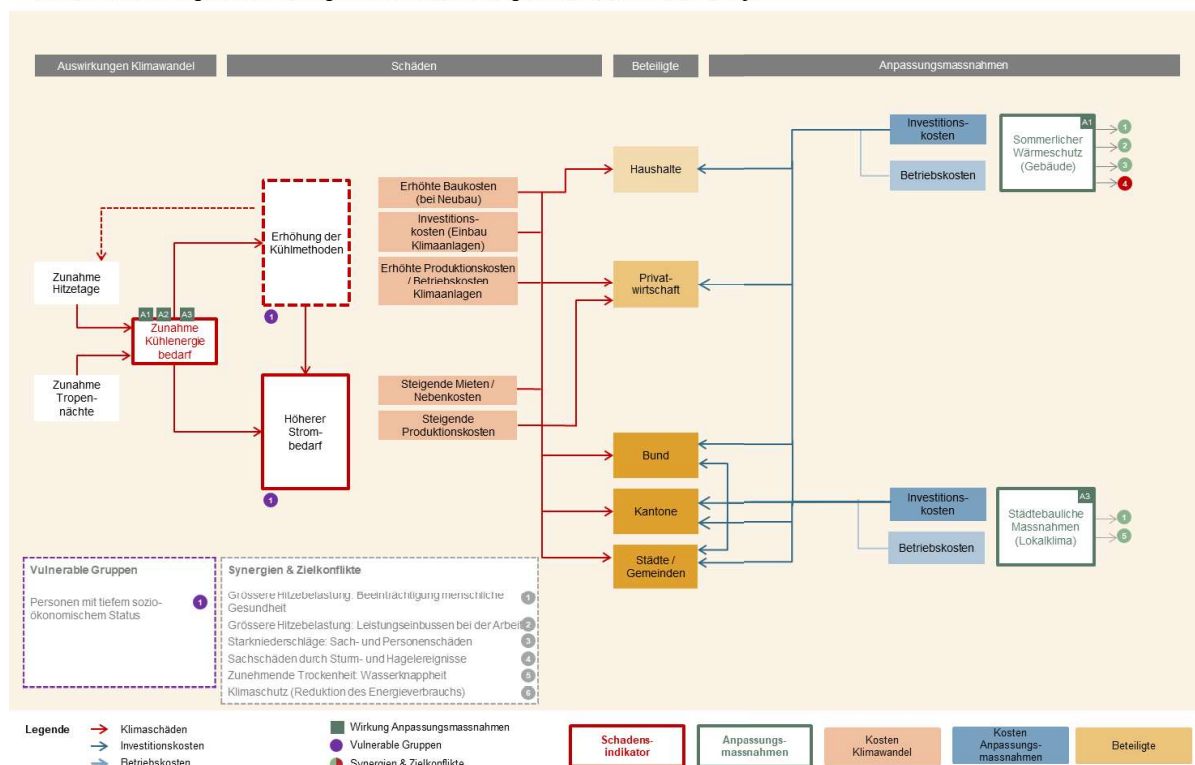
Die Kombination beider Annahmen ist bei der Interpretation zu trennen: Die 70 % beschreiben, welcher Anteil des Portfolios Massnahmen umsetzt; die 80 % beschreiben die Reduktion der als Schadenskosten ausgewiesenen aktiven Kühlkosten in der modellierten Situation mit Anpassung. Der genaue objektspezifische Zusammenhang zwischen Durchdringung, Massnahmenwirkung und dem auf Portfolioebene angesetzten 80-%-Effekt ist in den bereitgestellten Dokumenten nicht vollständig ausformuliert. Für eine Reimplementierung sollte diese Aggregationslogik deshalb im Modellcode beziehungsweise in einer Parameterdatei explizit dokumentiert werden.

## Maladaptation und Zielkonflikte

Der Hauptbericht verweist für Maladaptation auf die parallelen Hitzekapitel. Die Massnahmentabelle macht insbesondere einen Zielkonflikt deutlich: Eine rein reaktive Strategie, die steigende Hitzebelastung überwiegend mit aktiver Klimatisierung zu beantworten, erhöht den Strombedarf und kann damit den Klimaschutz erschweren. Der Konflikt hängt vom Strommix, der Effizienz der Anlagen und dem zeitlichen Lastprofil ab. Im Projekt wird deshalb empfohlen, passive Kühlung vorzuziehen und verbleibende Kühlung möglichst mit erneuerbarer Energie zu betreiben (Isaac & van Vuuren, 2009; IEA, 2022, wie im Hauptbericht zitiert).

Weitere mögliche Zielkonflikte werden in der Massnahmentabelle überwiegend qualitativ behandelt. Beispielsweise können Begrünungen zusätzlichen Unterhalt und Wasserbedarf verursachen; Fassaden- und Dachmassnahmen müssen mit Sturm-, Hagel- und Starkregenresilienz kompatibel sein; aussenliegende Verschattung kann bei falscher Auslegung Tageslicht und Nutzbarkeit beeinträchtigen. Diese Punkte sind für objektspezifische Planung relevant, werden aber im nationalen Kostenmodell nicht monetarisiert.

**Zunahme Kühlenergiebedarf durch grössere Hitzebelastung: Schäden, Kosten und Beteiligte**



## Modellierung der Klimakosten

### Systematik der Kosten

Die Kostenanalyse unterscheidet zwischen Schadenskosten, Anpassungskosten und Gesamtkosten. Schadenskosten sind die zusätzlichen Kosten aktiver Klimatisierung, die ohne zusätzliche Anpassung erforderlich wären. Anpassungskosten sind Investitions- und Betriebskosten des passiven beziehungsweise baulichen Massnahmenmixes. Mit Anpassung verbleibt ein Rest an aktiver Kühlung; die Gesamtkosten setzen sich daher aus verbleibenden Schadenskosten und Anpassungskosten zusammen.

$$C_{ges} = C_{CAPEX, \text{Kühlung}} + C_{OPEX, \text{Kühlung}}$$

$$C_{ges, \text{angepasst}} = C_{residual, \text{Kühlung}} + C_{Anpassung}$$

### Schadenskosten der aktiven Kühlung

Die Baseline nimmt an, dass zusätzliche Übertemperatur-Gradstunden vollständig durch aktive Kühlung kompensiert werden, sodass die modellierte Innenraumtemperatur nicht über die definierte Schwelle ansteigt. Daraus ergeben sich zwei Kostenkomponenten: Investitionskosten für die Neuanschaffung und Installation von Kühlanlagen und Betriebskosten, die im Wesentlichen den Stromverbrauch abbilden.

Die Investitionskosten werden über eine Betriebsdauer von 30 Jahren linear annualisiert. Der genaue Zeitpunkt des Anlagenzubaus bis 2060 wird nicht modelliert; der Bericht weist einen äquivalenten jährlichen Kostenbetrag in Preisen von 2023 aus. Der Diskontsatz beträgt gemäss übergeordnetem NCCS-Rahmen 0 %. Für die Stromkosten wird ein einheitlicher Tarif von 0.30 CHF/kWh verwendet (BFE, 2023).

$$C_{CAPEX,a} = C_{ges}/30$$

$$C_{OPEX,a} = E_{cool} \cdot 0.30 \text{ CHF/kWh}$$

$$C_{ges,a} = C_{CAPEX,a} + C_{OPEX,a}$$

Der Strompreis geht linear in die Betriebskosten ein. Damit kann eine alternative Preisannahme ohne Änderung der thermischen Modellierung als Sensitivität berechnet werden. Eine Verdopplung des Strompreises verdoppelt die OPEX-Komponente, nicht jedoch die annualisierten

Investitionskosten. Das Modell verwendet bewusst keine Strompreisprognose, um den Klimaeffekt nicht mit einer zusätzlichen, hoch unsicheren Marktannahme zu vermischen.

## Ergebnisse der Schadenskosten

| Gebäudekategorie                            | Szenario | Investition<br>Mio. CHF/a | Betrieb<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | Total<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] |
|---------------------------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 2.6  | 1'064                     | 263 [370]                         | 1'327 [1'434]                   |
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 4.5  | 2'127                     | 1'433 [1'986]                     | 3'560 [4'113]                   |
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 8.5  | 3'563                     | 3'274 [4'457]                     | 6'838 [8'020]                   |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 2.6  | 985                       | 144 [203]                         | 1'129 [1'188]                   |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 4.5  | 1'257                     | 225 [319]                         | 1'482 [1'576]                   |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 8.5  | 1'515                     | 371 [503]                         | 1'886 [2'018]                   |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 2.6  | 454                       | 123 [173]                         | 557 [628]                       |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 4.5  | 717                       | 238 [335]                         | 955 [1'052]                     |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 8.5  | 797                       | 360 [490]                         | 1'157 [1'287]                   |

Tabelle 3: Jährliche Schadenskosten durch Investition und Strombedarf zur aktiven Kühlung für 2060. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht.

Die Wohngebäude dominieren die absoluten Kosten. Dies ist einerseits auf die grosse Zahl der Wohngebäude und andererseits auf den heute vergleichsweise niedrigen Durchdringungsgrad mit aktiver Klimatisierung zurückzuführen. Zwischen RCP 2.6 und RCP 8.5 steigen die Investitionskosten im Wohnen ungefähr auf das Dreifache; die Gesamtkosten steigen aufgrund des stark wachsenden Stromverbrauchs noch stärker.

Bei Nichtwohngebäuden mit leichter physischer Tätigkeit sind die Gesamtkosten höher als bei mittelschwerer Tätigkeit, obwohl der spezifische Kühlbedarf bei mittelschwerer Tätigkeit höher sein kann. Ausschlaggebend ist die grössere Anzahl beziehungsweise Fläche der Gebäude in der Kategorie leichter Tätigkeit. In Extremjahren steigen vor allem die OPEX, während die Investitionskomponente unverändert bleibt.

## Verteilung der Schadenskosten auf Beteiligte

| Kategorie                                   | Bund | Kantone | Städte /<br>Gemeinden | Privat-<br>wirtschaft | Haushalte |
|---------------------------------------------|------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Wohnen</b>                               | 5 %  | 5 %     | 10 %                  | 0 %                   | 80 %      |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | 5 %  | 10 %    | 20 %                  | 65 %                  | 0 %       |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere Tätigkeit</b> | 5 %  | 5 %     | 10 %                  | 80 %                  | 0 %       |

Tabelle 4: Verteilung der Schadenskosten auf Beteiligte. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht. Eigentumsanteile gemäss BFS/GWR-Modellierung.

Die Verteilung folgt den im Projekt modellierten Eigentumsanteilen der Gebäudeflächen. Bei Wohngebäuden tragen Haushalte mit 80 % den grössten Anteil. Im Nichtwohnbereich liegt die Hauptlast bei der Privatwirtschaft. Öffentliche Eigentümer sind insbesondere bei Verwaltungsgebäuden, Schulen und Spitälern vertreten. Die Kostenträgerlogik bezieht sich auf Eigentum und bildet nicht vollständig ab, in welchem Umfang Kosten über Mieten, Nebenkosten, Preise oder Steuern an andere Gruppen überwält werden.

## Modellierung der Kosten der Anpassungsmassnahmen

### Kostenansatz

Die Anpassungskosten werden für die in den Massnahmenmix aufgenommenen Optionen aus CAPEX und OPEX berechnet. Viele Kosten skalieren mit Gebäudeeigenschaften. Die Modellierung verwendet deshalb Geometrieinformationen aus swissBUILDINGS<sup>3D</sup> als Proxy. Für ein automatisiertes Beschattungssystem kann beispielsweise die Gebäudekubatur beziehungsweise Fassadenfläche genutzt werden, um eine plausible Anzahl oder Fläche von Fenstern abzuleiten. Entsprechende Proxy-Ansätze werden für weitere Massnahmen verwendet.

Wie bei der aktiven Kühlung wird der konkrete Umsetzungszeitpunkt bis 2060 nicht differenziert. Die Kosten werden in Preisen von 2023 ausgewiesen. Der Durchdringungsfaktor von 70 % begrenzt die Anzahl der angepassten Gebäude. Die Massnahmenkosten werden zunächst auf Gebäudeebene berechnet und anschliessend auf Gebäudekategorie, Szenario und die gesamte Schweiz aggregiert.

Wesentliche Unsicherheiten entstehen durch regionale Preisunterschiede, Projektgrösse, Fassaden- und Dachgeometrie, vorhandene Technik, Zugänglichkeit und Bauzustand. Die detaillierte Massnahmentabelle enthält zwar zahlreiche generische Kostenansätze, aber nicht für alle modellierten Optionen konkrete Beträge. Die nationalen Anpassungskosten sind daher als konsistente Modellgrössen und nicht als Summe belastbarer Einzelofferten zu verstehen.

## Ergebnisse der Anpassungskosten

| Gebäudekategorie                            | Szenario | Investition<br>Mio. CHF/a | Betrieb<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | Total<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] |
|---------------------------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 2.6  | 213                       | 27 [35]                           | 241 [248]                       |
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 4.5  | 427                       | 139 [178]                         | 566 [605]                       |
| <b>Wohnen</b>                               | RCP 8.5  | 715                       | 294 [377]                         | 1'009 [1'092]                   |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 2.6  | 413                       | 105 [135]                         | 519 [549]                       |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 4.5  | 528                       | 155 [203]                         | 683 [730]                       |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>       | RCP 8.5  | 636                       | 237 [303]                         | 873 [939]                       |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 2.6  | 191                       | 77 [102]                          | 268 [293]                       |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 4.5  | 302                       | 143 [192]                         | 445 [493]                       |
| <b>Gewerbe, mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 8.5  | 335                       | 207 [272]                         | 542 [607]                       |

Tabelle 5: Jährliche Anpassungskosten in der Schweiz 2060. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht.

Die Anpassungskosten steigen mit der Intensität des Klimawandels, weil ein grösserer Umfang beziehungsweise eine höhere Beanspruchung der Massnahmen erforderlich wird. Extremjahre wirken primär auf die laufenden Kosten. Die Investitionskosten werden wie im Schadenskostenmodell als langfristige, nicht von einem einzelnen Extremjahr ausgelöste Entscheidung behandelt.

## Verbleibende Schadenskosten mit Anpassung

| Gebäudekategorie                                | Szenario | Investition<br>Mio.<br>CHF/a | Betrieb<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | Total<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | ggü.<br>ohne |
|-------------------------------------------------|----------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 2.6  | 213                          | 53 [74]                           | 265 [287]                       | -80 %        |
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 4.5  | 425                          | 287 [397]                         | 712 [823]                       | -80 %        |
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 8.5  | 713                          | 655 [891]                         | 1'367 [1'604]                   | -80 %        |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 2.6  | 197                          | 29 [41]                           | 226 [238]                       | -80 %        |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 4.5  | 251                          | 45 [64]                           | 296 [315]                       | -80 %        |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 8.5  | 303                          | 74 [101]                          | 377 [404]                       | -80 %        |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 2.6  | 91                           | 25 [35]                           | 115 [126]                       | -80 %        |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 4.5  | 143                          | 48 [65]                           | 191 [210]                       | -80 %        |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 8.5  | 159                          | 72 [98]                           | 231 [257]                       | -80 %        |

Tabelle 6: Jährliche verbleibende Schadenskosten mit Anpassung. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht.

Die Tabelle zeigt die im Modell vorgegebene Reduktion der Schadenskosten um 80 %. Die verbleibenden Investitions- und Betriebskosten repräsentieren den Restbedarf an aktiver Kühlung. Die Anpassung eliminiert die aktive Kühlung somit nicht vollständig, sondern verschiebt einen Teil der Aufwendungen von energieverbrauchender Kühlung zu passivem und baulichem Wärmeschutz.

## Gesamtkosten mit Anpassung

| Gebäudekategorie                                | Szenario | Investition<br>Mio.<br>CHF/a | Betrieb<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | Total<br>Mio. CHF/a<br>[Extrem] | Verän-<br>derung |
|-------------------------------------------------|----------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 2.6  | 426                          | 80 [109]                          | 506 [535]                       | -62 %<br>[-63 %] |
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 4.5  | 852                          | 426 [575]                         | 1'278 [1'427]                   | -64 %<br>[-65 %] |
| <b>Wohnen</b>                                   | RCP 8.5  | 1'428                        | 949 [1'268]                       | 2'376 [2'696]                   | -65 %<br>[-66 %] |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 2.6  | 610                          | 134 [176]                         | 745 [786]                       | -34 %<br>[-34 %] |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 4.5  | 779                          | 200 [266]                         | 980 [1'046]                     | -34 %<br>[-34 %] |
| <b>Gewerbe, leichte<br/>Tätigkeit</b>           | RCP 8.5  | 939                          | 311 [404]                         | 1'250 [1'343]                   | -34 %<br>[-33 %] |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 2.6  | 282                          | 101 [137]                         | 383 [418]                       | -34 %<br>[-33 %] |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 4.5  | 445                          | 191 [239]                         | 636 [704]                       | -33 %<br>[-33 %] |
| <b>Gewerbe,<br/>mittelschwere<br/>Tätigkeit</b> | RCP 8.5  | 494                          | 279 [370]                         | 773 [864]                       | -33 %<br>[-33 %] |

Tabelle 7: Jährliche Gesamtkosten aus verbleibenden Schäden und Anpassung. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht.

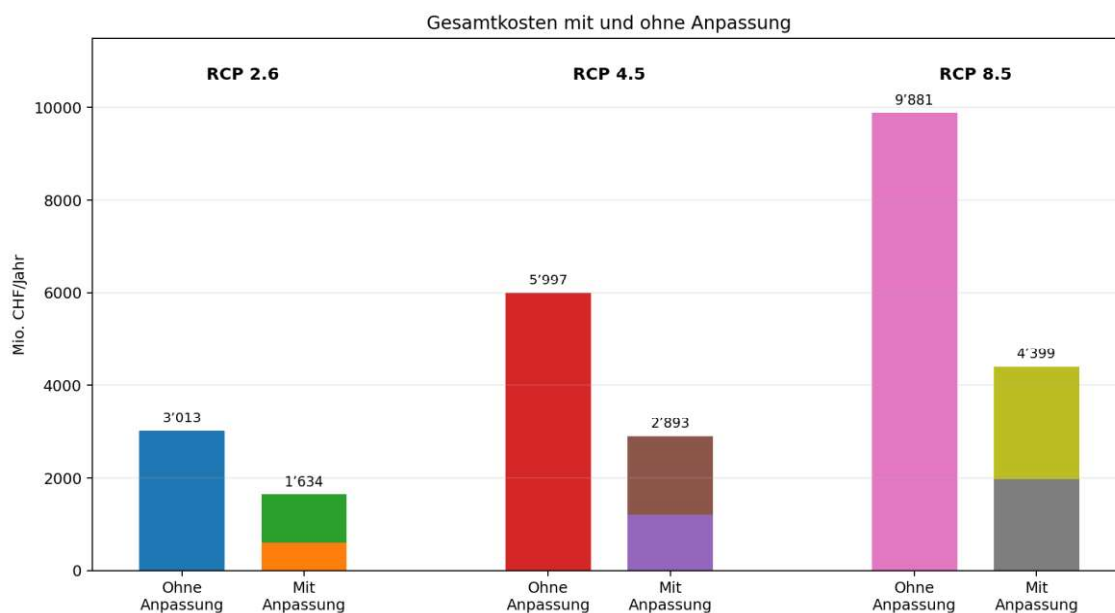


Abbildung 4: Aggregierte jährliche Kosten mit und ohne Anpassung über die drei Gebäudekategorien. Quelle: eigene Darstellung nach Tabellen 36, 38 und 40 des NCCS-P5 Ergebnisberichts.

Über alle drei Gebäudekategorien summieren sich die Schadenskosten ohne Anpassung auf 3'013 Mio. CHF/Jahr unter RCP 2.6, 5'997 Mio. CHF/Jahr unter RCP 4.5 und 9'881 Mio. CHF/Jahr unter RCP 8.5. Mit Anpassung verbleiben 606, 1'199 beziehungsweise 1'975 Mio. CHF/Jahr an Schadenskosten; hinzu kommen 1'028, 1'694 beziehungsweise 2'424 Mio. CHF/Jahr Anpassungskosten. Die Gesamtkosten mit Anpassung betragen damit 1'634, 2'893 und 4'399 Mio. CHF/Jahr.

Aus diesen im Ergebnisbericht ausgewiesenen Zahlen ergibt sich auf Portfolioebene rechnerisch eine Reduktion der Gesamtkosten um rund 46 % (RCP 2.6), 52 % (RCP 4.5) und 55 % (RCP 8.5). Der Nutzen der Anpassung nimmt damit in absoluter und relativer Betrachtung mit stärkerem Klimawandel zu. Diese Rechnung bedeutet nicht, dass ein RCP-8.5-Pfad ökonomisch vorteilhaft wäre; sie zeigt lediglich, dass bei höherer thermischer Belastung der vermiedene Anteil aktiver Kühlkosten grösser wird.

## Sensitivitäten des Kostenmodells

Das Kostenmodell enthält mehrere Parameter, deren Wirkung sich transparent als Sensitivität darstellen lässt. Die wichtigsten sind:

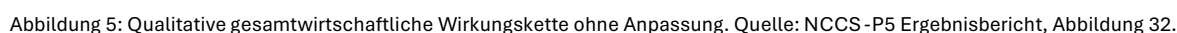
- **Strompreis:** linearer Einfluss auf die OPEX der aktiven Kühlung. Ein alternativer Preis kann direkt proportional auf die Betriebskosten angewandt werden.
- **Lebensdauer der Kühlanlagen:** Die Annualisierung der CAPEX hängt invers von der angesetzten Betriebsdauer ab. Kürzere Nutzungsdauer erhöht die jährlichen Investitionskosten.
- **Erneuerungsrate des Gebäudeparks:** Eine höhere energetische Erneuerung kann die thermische Vulnerabilität verändern, sofern die neue Bauqualität einen besseren sommerlichen Wärmeschutz aufweist. Im aktuellen Modell ist dieser Effekt nur vereinfacht abgebildet.
- **Durchdringung der Anpassung:** Der angenommene Anteil von 70 % beeinflusst die Anpassungskosten und den erzielbaren Portfolionutzen. Eine objektspezifische Kosten-Nutzen-Selektion könnte effizienter sein als ein pauschaler Durchdringungswert.

- Wirksamkeit des Massnahmenmixes: Die angesetzte Reduktion der Schadenskosten um 80 % ist modelltreibend. Eine Unsicherheitsanalyse sollte für diese Grösse mindestens mehrere Wirkungsstufen ausweisen.
- Technologische Effizienz der Kühlung: Verbesserungen von COP/EER senken den Strombedarf je bereitgestellter Kälte. Der aktuelle Quellenbestand modelliert diesen technologischen Fortschritt nicht explizit.
- Gebäudebestand und Bevölkerung: Das Projekt hält diese Grössen konstant, um den Klimaeffekt zu isolieren. Für eine Versorgungs- oder Stromsystemplanung müssten sie dagegen dynamisch modelliert werden.

## Gesamtwirtschaftliche Einordnung

Der Hauptbericht quantifiziert für dieses Klimarisiko keine Input-Output-Effekte, beschreibt die Wirkungsketten jedoch qualitativ. Ein höherer Kühlbedarf löst gleichzeitig positive und negative wirtschaftliche Impulse aus. Zusätzliche Investitionen in Anlagen, Gebäudetechnik und Strominfrastruktur erhöhen Umsatz und Beschäftigung in Bau-, Installations- und Energiesektoren. Dem stehen höhere Produktionskosten von Unternehmen und geringeres verfügbares Einkommen der Haushalte gegenüber. Bei Mietwohnungen können Investitionen und steigende Stromkosten über Mieten und Nebenkosten weitergegeben werden.

Für Unternehmen können höhere Kühl- und Stromkosten Margen und Investitionsspielräume reduzieren. Die Wirkung hängt davon ab, ob Kosten über Preise überwältzt werden können und wie energieintensiv die jeweilige Nutzung ist. Für Haushalte führt die Finanzierung von Gebäudemassnahmen oder laufender Kühlung zu einem Konsumverzicht bei anderen Gütern und Dienstleistungen. Damit entstehen indirekte Nachfrageeffekte in anderen Branchen. Gleichzeitig kann ein höherer Kühlstrombedarf zusätzlichen Ausbau von Erzeugung, Netzen und Flexibilitätsoptionen erfordern.



24

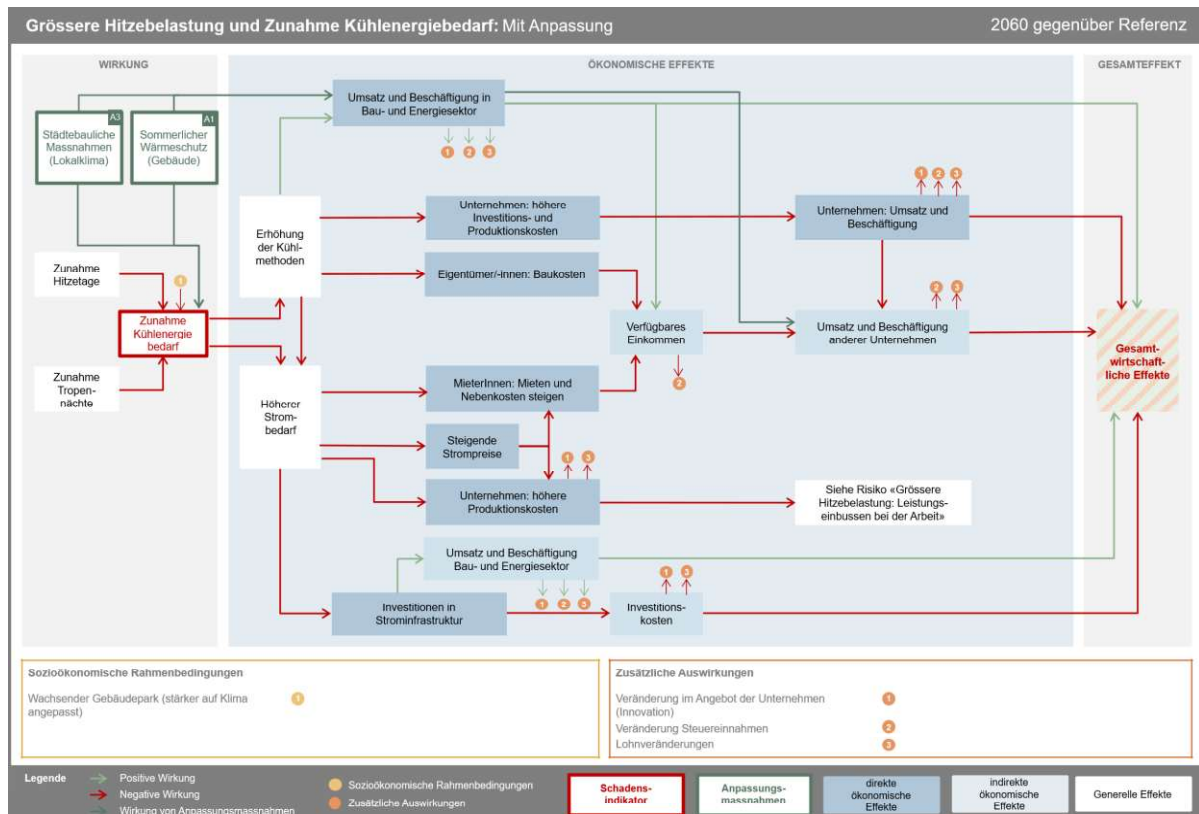


Abbildung 6: Qualitative gesamtwirtschaftliche Wirkungskette mit Anpassung. Quelle: NCCS-P5 Ergebnisbericht, Abbildung 33.

Verteilungsfragen sind für dieses Klimarisiko besonders relevant. Einkommensschwache Haushalte können steigende Strom- und Mietkosten weniger gut abfedern. Gleichzeitig haben Mietende oft wenig Einfluss auf die Gebäudehülle. Öffentliche Förderinstrumente oder Mindeststandards können daher nicht nur die Effizienz der Anpassung, sondern auch deren Verteilung beeinflussen. Bei der Ausgestaltung sollte vermieden werden, dass Investitionskosten regressiv überwältigt werden oder Haushalte in Energiearmut aus Kostengründen auf gesundheitlich notwendige Kühlung verzichten.

## Weiterführende Analysen und Modellverbesserungen

Aus den Limitationen der vorhandenen Modellierung ergeben sich mehrere konkrete Weiterentwicklungen. Diese betreffen nicht nur die Genauigkeit des thermischen Modells, sondern auch die Entscheidungsunterstützung für Gebäude-, Quartiers- und Energieplanung.

### 1. Spezifische Stadtklimamodelle

Für besonders betroffene Agglomerationen sollten nationale Klimaprojektionen mit lokalen Stadtklimadaten kombiniert werden. Messungen, hochaufgelöste Simulationen und Kaltluftanalysen können die Differenz zwischen einem Referenzstandort und einem dicht bebauten Quartier quantifizieren. Damit wird die thermische Exposition präziser und städtebauliche Anpassung kann direkt als Veränderung der lokalen Randbedingungen in das Gebäudemodell eingehen.

### 2. Gebäudescharfe Hitzeresilienz bei Sanierung und Neubau

Die Sanierungszyklen des Gebäudeparks bieten einen zentralen Hebel für kosteneffiziente Anpassung. Künftig sollte die Modellierung nicht nur eine allgemeine Erneuerungsrate ansetzen, sondern bei jeder Sanierung eine Auswahl hitzeresilienter Standards abbilden. Dies ermöglicht den Vergleich eines reinen Energieeffizienzpfads mit einem explizit klimaangepassten Pfad. Wichtig ist die Priorisierung passiver Massnahmen, bevor zusätzliche aktive Kühlleistung dimensioniert wird.

### 3. Split-Incentives zwischen Eigentum und Nutzung

Die Diskrepanz zwischen Investitionsentscheidung und Nutzen ist bei Mietgebäuden ein Kernproblem. Eigentümerinnen und Eigentümer tragen CAPEX für Verschattung, Dämmung oder Begrünung; Mietende profitieren von niedrigeren Innenraumtemperaturen und tragen häufig den Haushaltsstrom. Eine weiterführende Analyse sollte unterschiedliche regulatorische und finanzielle Modelle - beispielsweise Förderbeiträge, Mietzinsregeln oder Mindeststandards - daraufhin untersuchen, wie sie Investitionen auslösen und Kosten verteilen.

### 4. Dynamische Strompreise und Lastspitzen

Der aktuelle Ansatz verwendet einen konstanten Strompreis. Für eine energiewirtschaftliche Vertiefung sollte die stündliche Korrelation zwischen Hitze, Kühlstromnachfrage, Photovoltaikerzeugung und Netzbelastung modelliert werden. Kühlung kann teilweise gut mit sommerlicher PV-Produktion zusammenfallen, sehr heisse Abend- und Nachtstunden können jedoch Netz- und Speicherkapazitäten beanspruchen. Dynamische Tarife, Lastmanagement und thermische Speicher können deshalb eigenständige Anpassungsoptionen darstellen.

### 5. Technologischer Fortschritt und Kühltechnik

Bis 2060 sind erhebliche Änderungen von Kosten und Effizienz aktiver Kühltechnologien plausibel, werden im bestehenden Modell aber bewusst nicht angenommen. Eine erweiterte Modellierung kann Technologiepfade für reversible Wärmepumpen, zentrale Kältemaschinen, Free Cooling, geothermische Systeme, Fernkälte und thermische Speicherung unterscheiden. Entscheidend ist, technische Effizienz nicht mit Anpassungswirkung zu verwechseln: Ein effizienteres Kühlgerät senkt

Energie pro Kühlleistung, während passive Massnahmen die benötigte Kühlleistung selbst reduzieren.

## 6. Unsicherheits- und Robustheitsanalyse

Die heutige Ergebnisdarstellung verwendet Szenarien und ein Extremjahr, aber keine vollständige probabilistische Kostenverteilung. Eine robuste Erweiterung kann die Unsicherheiten von Klimamodellen, Gebäudeparametern, Massnahmenwirksamkeit, Preisen und Technologie über Low/Base/High-Bandbreiten oder Monte-Carlo-Analysen kombinieren. Für Entscheidungsträger wäre insbesondere relevant, welche Massnahmen über alle drei RCP-Szenarien und über unterschiedliche Preisannahmen hinweg wirtschaftlich und technisch sinnvoll bleiben.

## Schlussfolgerungen

Die NCCS-P5-Modellierung zeigt den steigenden Kühlenergiebedarf als relevantes, bislang häufig unterschätztes Kostenrisiko der zunehmenden Hitzebelastung. Die zentrale Stärke des Ansatzes liegt in der schweizweiten Verknüpfung von Klimaszenarien und Gebäudeinformationen sowie in der konsistenten monetären Übersetzung in Investitions- und Betriebskosten. Die Ergebnisse verdeutlichen eine starke Szenarioabhängigkeit: Ohne globalen Klimaschutz steigt der modellierte Kühlenergiebedarf und damit die Kosten aktiver Kühlung bis 2060 deutlich stärker an als unter RCP 2.6.

Gleichzeitig zeigt die Modellierung, dass Anpassung die Kosten erheblich reduzieren kann. Der im Projekt verwendete passive und bauliche Massnahmenmix senkt die verbleibenden Schadenskosten modellhaft um 80 %. Nach Berücksichtigung der eigenen Anpassungskosten verbleibt auf Portfolioebene ein deutlicher Netto-Kostenvorteil. Besonders im Wohngebäudebereich sind die Einsparungen hoch. Die Ergebnisse unterstützen damit eine Strategie, sommerlichen Wärmeschutz frühzeitig in Sanierungs- und Neubauentscheidungen zu integrieren und aktive Kühlung auf den unvermeidbaren Restbedarf zu begrenzen.

Für die Nutzung der Zahlen in konkreten Investitionsentscheidungen ist jedoch Vorsicht erforderlich. Das Modell ist ein nationales Portfolio- und Szenariomodell. Es ersetzt keine objektspezifische thermische Simulation, Anlagenplanung oder Wirtschaftlichkeitsrechnung. Die grössten Verbesserungsmöglichkeiten liegen in einer expliziten Dokumentation der thermischen Umrechnungsfunktion von Übertemperatur-Gradstunden in Kühlenergie, einer stärkeren Gebäudedifferenzierung, einer dynamischen Modellierung von Technologie und Stromsystem sowie einer transparenten Unsicherheitsanalyse der Massnahmenwirksamkeit.

Aus Sicht der Klimaanpassung ist besonders relevant, Anpassung nicht mit zusätzlicher Klimatisierung gleichzusetzen. Der Quellenbestand bewertet passive, bauliche und städtebauliche Massnahmen als zentrale Optionen und verweist auf den Zielkonflikt zwischen wachsender aktiver Kühlung und Klimaschutz. Ein robuster Anpassungspfad kombiniert daher erstens reduzierte Wärmeeinträge, zweitens verbesserte passive Abkühlung und drittens effiziente, möglichst emissionsarme aktive Kühlung für den verbleibenden Bedarf. Diese Reihenfolge reduziert sowohl die langfristigen Betriebskosten als auch die Gefahr eines technischen Lock-in in einen stark wachsenden Strombedarf.

## Referenzen

Bundesamt für Energie BFE (2021). Energieperspektiven 2050+.

Bundesamt für Energie BFE (2023). Elektrizitätstarife 2023 - Übersicht für Haushalte.

Bundesamt für Energie BFE (2024a). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich in der Periode von 2010 bis 2020. Schlussbericht vom 30. September 2024.

Bundesamt für Energie BFE (2024b). Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2023 nach Verwendungszwecken. Oktober 2024.

Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2024b). swissBUILDINGS3D 2.0. Konsultiert am 04.03.2024. Hinweis: Im Ergebnistext wird swissBUILDINGS3D 3.0 genannt; die verwendete Version sollte für eine Reproduktion geklärt werden.

Bundesamt für Statistik BFS (2022). Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT).

Bundesamt für Statistik BFS (2025b). Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister (GWR).

Bundesamt für Umwelt BAFU (2018). Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2021). Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. [Im Ergebnisbericht zusätzlich als Quelle für den Schweizer Klimakontext zitiert.]

CH2018 (2018). CH2018 - Climate scenarios for Switzerland: Technical report. National Centre for Climate Services.

IEA (2018). The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning. International Energy Agency, Paris.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report.

International Organization for Standardization ISO (2017). EN ISO 52016-1:2017 Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures.

Isaac, M. & van Vuuren, D. P. (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. Energy Policy, 37(2), 507-521.

Kanton Freiburg (2021). Kantonaler Klimaplan - Strategie und Massnahmen 2021-2026.

Kanton Schaffhausen (2019). Bericht 2019 zur Klimaanpassung im Kanton Schaffhausen.

Kanton Zürich (2018). Klimawandel im Kanton Zürich - Massnahmenplan Anpassung an den Klimawandel.

Meteo Schweiz (2024c). Klimaszenarien Raumklima.

Meteo Schweiz, SIA & HSLU (2022). Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028). Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 279, 124 S.

Santamouris, M. (2016). Cooling the buildings - past, present and future. *Energy and Buildings*, 128, 617-638.

Schweizerische Eidgenossenschaft (2020). Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020-2025.

Stalhandske, Z., Nesa, V., Zumwald, M., Ragetti, M. S., Galimshina, A., Holthausen, N., Rösli, M. & Bresch, D. N. (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.

Swiss TPH (2021). Hitze-Massnahmen-Toolbox 2021.

Ürge-Vorsatz, D. et al. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85-98.

NCCS-Impacts P5 (2025). Die Kosten von ausgewählten Klimarisiken - Ergebnisbericht (Modellierungen und Ergebnisse), insbesondere Kapitel 4.3.

NCCS-Impacts P5 (2025). Massnahmentabelle.

Settembrini, G., Domingo-Irigoyen, S., Heim, T., Jurt, D., Zakovorotnyi, A., Seerig, A., Zweifel, G. & Menti, U.-P. (2017): *ClimaBau – Planen angesichts des Klimawandels. Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100*. Hochschule Luzern – Technik & Architektur, im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, kofinanziert durch das BAFU.