

Sachschäden durch Sturm- und Hagelereignisse

Technischer Bericht als Ergänzung des Ergebnisberichts 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

Kontakt

Sustainaccount AG

www.sustainaccount.com

info@sustainaccount.com

Zusammenfassung

Sturm- und Hagelereignisse verursachen in der Schweiz regelmässig erhebliche Sachschäden. Betroffen sind insbesondere Gebäudehüllen, Fahrzeuge, technische Anlagen und Infrastrukturen; bei Hagel kommen landwirtschaftliche Kulturen als besonders exponierte Werte hinzu. Der NCCS-Impacts-P5-Ergebnisbericht betrachtet die beiden Gefahren gemeinsam, modelliert sie jedoch methodisch unterschiedlich. Für Sturm werden historische Schäden mit klimawandelbedingt veränderten Intensitäten und Häufigkeiten aus CH2018 verknüpft und beispielhafte Ereignisse mit CLIMADA modelliert. Für Hagel wird aufgrund des zum Analysezeitpunkt nicht robust bestimmbar klimatischen Änderungssignals die heutige Hagelklimatologie in die Zukunft fortgeschrieben. Die Kostenmodellierung kombiniert in beiden Fällen Gefahr, Exposition und Vulnerabilität.

Die Exposition wird kantonal für Immobilien, Mobilien und Infrastruktur abgebildet; bei Hagel wird zusätzlich das Ausbaupotential dachgebundener Photovoltaik berücksichtigt. Die Vulnerabilität beschreibt den intensitätsabhängigen relativen Wertverlust eines exponierten Objekts. Durch die Simulation möglicher Ereignisse und den Vergleich mit historischen Schadendaten werden Schadensfunktionen auf Ebene von Objektkategorien kalibriert beziehungsweise plausibilisiert. Anschliessend wird das kantonale Schadenspotential bestimmt und für die Schweiz aggregiert. Neue Bauzonen und Bevölkerungswachstum werden bewusst nicht als zusätzliche Exposition modelliert, damit der Klimaeffekt nicht durch sozioökonomische Veränderungen überlagert wird.

Für die Referenz weist der Ergebnisbericht jährliche Schäden von rund 82 Mio. CHF durch Sturm und 312 Mio. CHF durch Hagel aus. Für 2060 steigen die Medianwerte der Sturmschäden auf 86 Mio. CHF unter RCP 2.6, 94 Mio. CHF unter RCP 4.5 und 102 Mio. CHF unter RCP 8.5. Die Hagelschäden werden in den Ergebnistabellen mit 353, 398 beziehungsweise 450 Mio. CHF/Jahr ausgewiesen. Die Hagelgefährdung selbst wird dabei nicht als RCP-abhängig modelliert; die Quellen dokumentieren nicht vollständig, welche nicht-gefahrenseitigen Modellparameter die RCP-spezifischen Hagelwerte im Detail treiben. Diese Differenz zwischen textlicher Methodendokumentation und Ergebnistabelle ist eine der Reproduzierbarkeitslücken des Projekts.

Die Anpassung wird über einen Massnahmenmix abgebildet. Dieser umfasst permanenten und temporären Objektschutz, Forschung und Monitoring, Integration in Normen und Notfallkonzepte, Information und Sensibilisierung sowie Schutzmassnahmen und Versicherungen in der Landwirtschaft. Der separate Massnahmenkatalog konkretisiert den Objektschutz mit sturm- und hagelrobusten Dachsystemen, verstärkter Befestigung von Fassaden- und Dachelementen, gesicherten Fenstern und Türen, sturmge rechter Montage von PV-Anlagen, Schutz von Storen, hagelgeprüften Bauteilen und widerstandsfähigeren Materialien. Die detaillierten Kosten beziehungsweise Umsetzungsquoten dieser Einzelmassnahmen sind in den bereitgestellten Quellen überwiegend nicht quantitativ hinterlegt; die Ergebnisse beruhen daher auf einem auf Portfolioebene aggregierten Massnahmenmix.

Die jährlichen Anpassungskosten betragen für Sturm 7.0 bis 34.7 Mio. CHF und für Hagel 102 bis 129 Mio. CHF. Nach Anpassung verbleiben unter RCP 2.6 bis RCP 8.5 Sturmschäden von 5.2 bis 30.5 Mio. CHF und Hagelschäden von 37 bis 48 Mio. CHF. Aus den tabellierten Werten

ergeben sich kombinierte Gesamtkosten aus Anpassung und verbleibendem Schaden von rund 151 Mio. CHF/Jahr unter RCP 2.6, 183 Mio. CHF/Jahr unter RCP 4.5 und 242 Mio. CHF/Jahr unter RCP 8.5. Gegenüber einer Situation ohne Anpassung entspricht dies einer rechnerischen Reduktion der kombinierten Kosten um rund 66 %, 63 % beziehungsweise 56 %. Die IO-Modellierung zeigt zugleich, dass Schadensbeseitigung und Anpassung positive Nachfrageimpulse auslösen, die notwendige Finanzierung über Rückstellungen, Konsum- und Investitionsverzicht jedoch insgesamt überwiegt. Der resultierende Verlust an Bruttowertschöpfung sinkt durch Anpassung deutlich.

Die Ergebnisse sind als nationale Grössenordnungen zu interpretieren. Wesentliche Unsicherheiten bestehen bei der zukünftigen Hagelgefährdung, bei der räumlichen Auflösung und Vollständigkeit historischer Schadensdaten, bei dynamischen Expositionsbeständen, bei der Übertragbarkeit von Vulnerabilitätsfunktionen sowie bei Mehrgefahren- und indirekten Schäden. Darüber hinaus enthalten die Ergebnistabellen einzelne interne Inkonsistenzen, insbesondere bei den ausgewiesenen Total-Perzentilen der Sturmschäden und bei der Aggregation von Anpassungskosten für die gesamtwirtschaftliche Modellierung. Der vorliegende Bericht korrigiert diese Werte nicht stillschweigend, sondern verwendet für grafische Vergleiche die konsistenten Medianwerte und weist die Dokumentationslücken explizit aus.

Einleitung

Sturm und Hagel sind zwei meteorologische Naturgefahren mit unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Charakteristik, die jedoch häufig ähnliche exponierte Werte treffen. Winddruck und Windsog können Dach- und Fassadenteile lösen, Fenster und Türen beschädigen oder indirekte Schäden durch umstürzende Bäume und lose Gegenstände auslösen. Hagel wirkt demgegenüber vor allem durch mechanischen Aufprall auf exponierte Oberflächen. Der Ergebnisbericht nennt als besonders verletzte Bauteile unter anderem Lamellenstoren, Fassaden, Dachdeckungen, gealterte Kunststoffe und Photovoltaikanlagen. Zusätzlich sind Fahrzeuge und landwirtschaftliche Erträge exponiert.

Die ökonomische Relevanz der beiden Gefahren ergibt sich nicht allein aus einer möglichen Veränderung der meteorologischen Gefährdung. Auch ohne Klimawandel können Schadenssummen steigen, wenn sich die Werte der exponierten Gebäude und Mobilien erhöhen oder wenn sich Bauweisen und technische Ausstattung verändern. Der Ergebnisbericht verweist in diesem Zusammenhang insbesondere auf veränderte Architektur, Energieeffizienz und den Ausbau von Photovoltaik. Das Projekt versucht deshalb, den klimatischen Einfluss von der sozioökonomischen Entwicklung soweit wie möglich zu trennen und setzt für zentrale Expositionsponenten statische beziehungsweise kontrollierte Annahmen.

Für Sturm und Hagel ist diese Trennung methodisch unterschiedlich gut möglich. Für Sturm stehen mit CH2018 Klimadaten zur Verfügung, die zur Veränderung von Intensität und Häufigkeit herangezogen werden. Für Hagel war zum Zeitpunkt der Analyse kein robustes Klimawandelsignal verfügbar. Die bestehende Hagelklimatologie wird deshalb unverändert in die Zukunft übertragen. Diese Asymmetrie ist für die Interpretation der Resultate entscheidend: Die Sturmergebnisse enthalten ein explizites Klimasignal auf der

Gefährdungsseite, während die Hagelergebnisse eher eine untere Abschätzung unter fortgeschriebener heutiger Gefährdung darstellen sollen.

Der vorliegende Technische Bericht dokumentiert die Modelllogik, die verwendeten Systemgrenzen und die im Ergebnisbericht ausgewiesenen Ergebnisse. Er orientiert sich in Aufbau und technischer Tiefe am bestehenden Technischen Bericht zur Wasserkraft. Zusätzlich werden die im separaten Spreadsheet dokumentierten Anpassungsmassnahmen in die methodische Darstellung integriert. Wo die drei Projektquellen keine vollständigen Modellparameter, Formeln oder Datensatzversionen enthalten, wird dies ausdrücklich als Reproduzierbarkeitslücke ausgewiesen und nicht durch externe Annahmen ersetzt.

Methodik

Ausgangslage und Untersuchungsgegenstand

Der Untersuchungsgegenstand sind materielle Sachschäden durch Sturm und Hagel in der Schweiz. Der Ergebnisbericht unterscheidet als Expositions- beziehungsweise Kostenkategorien Immobilien, Mobilien und Infrastruktur.

Personenschäden sind im Klimarisiko Sturm und Hagel nicht Bestandteil der quantitativen Modellierung. Ebenfalls nicht explizit quantifiziert werden Betriebsunterbrüche, Lieferketteneffekte, Verkehrsbehinderungen und Gesundheitsfolgen. Die Modellierung konzentriert sich somit auf direkte materielle Schäden und die damit verbundenen Anpassungs- und Wiederherstellungskosten.

Die räumliche Modellierung erfolgt auf kantonaler Ebene und wird für den Ergebnisbericht auf die gesamte Schweiz aggregiert. Diese räumliche Auflösung ist ein Kompromiss zwischen der Verfügbarkeit von Expositions- und Schadendaten und der hohen Lokalität insbesondere von Hagelereignissen. Für Hagel ist dies eine wesentliche Unsicherheitsquelle, weil Hagelzüge deutlich kleinräumiger auftreten können als die kantonale Aggregation.

Modellierungsrahmen

Die Modellierung folgt dem im NCCS-Projekt verwendeten Risikorahmen aus Gefahr, Exposition und Vulnerabilität. Der Ergebnisbericht beschreibt diese drei Komponenten qualitativ und verbindet sie über ereignisbasierte Simulationen. Die nachfolgende Darstellung rekonstruiert diesen Ablauf schematisch.

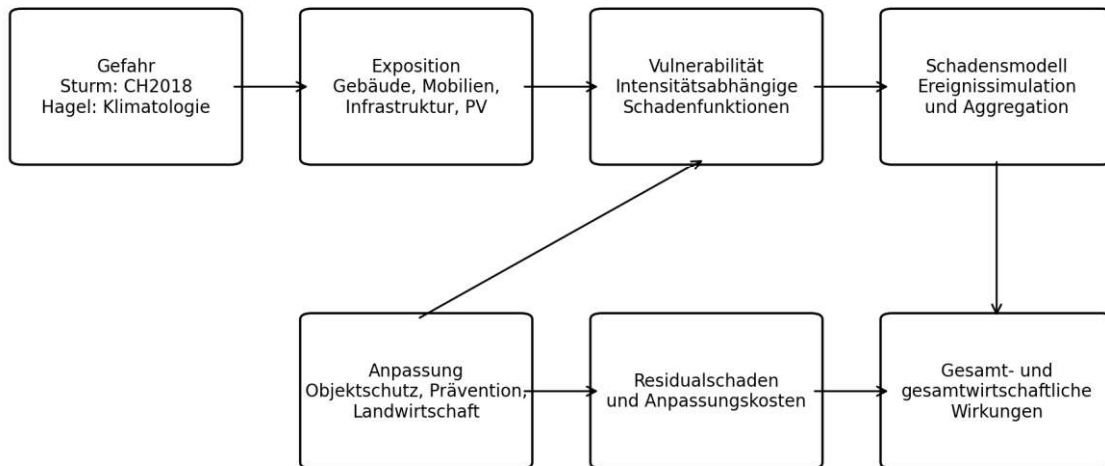


Abbildung 1: Schematische Modellierungskette für Sturm- und Hagelschäden. Quelle: eigene Darstellung

Grundgleichung des Modells

Für jedes Ereignis e , jedes exponierte Objekt i und jede Objektklasse c wird zunächst ein Ereignisschaden bestimmt:

$$D_{i,e} = E_i \cdot MDR_c(I_{i,e})$$

mit

E_i = exponierter Wiederbeschaffungswert des Objekts [CHF]

$I_{i,e}$ = Gefahrenintensität des Ereignisses am Objektstandort

und

$MDR_c(I)$ = Mean Damage Ratio der Objektklasse c .

Der Gesamtschaden eines Ereignisses lautet damit:

$$D_e = \sum_i E_i \cdot MDR_{c(i)}(I_{i,e})$$

und der erwartete jährliche Schaden (*Average Annual Loss*, AAL):

$$AAL = \sum_e \lambda_e D_e$$

mit

λ_e = jährliche Eintrittsrate des Ereignisses e [$1/a$].

Vulnerabilitätsfunktion

Für Sturm und Hagel wird dieselbe mathematische Funktionsfamilie («verschobene Hill-Funktion») verwendet, aber mit unterschiedlichen Parametern kalibriert.

$$MDR_c(I) = MDR_{\max,c} \frac{x_c(I)^{\beta_c}}{1 + x_c(I)^{\beta_c}}$$

mit

$$x_c(I) = \max\left(0, \frac{I - I_{0,c}}{I_{50,c} - I_{0,c}}\right)$$

und:

I_0 : Intensität, unterhalb der praktisch keine Schäden auftreten

I_{50} : Intensität, bei der die Hälfte des maximalen Schadengrads erreicht wird

β : Steilheit der Schadenkurve

$MDR_{\max}$: maximaler Anteil des exponierten Wertes, der beschädigt werden kann

Modellierung der Sturmgefahr

Für Sturm bilden historische Schäden die Ausgangsbasis. Um den Einfluss des Klimawandels abzubilden, werden Intensitäten und Häufigkeiten von Stürmen aus CH2018 abgeleitet. Beispielhafte Sturmereignisse werden mittels CLIMADA modelliert. CLIMADA ist im Projekt generell als ereignisbasierte und probabilistische Plattform zur Modellierung physischer Gefahren, Exposition und Schäden eingesetzt (Aznar-Siguan & Bresch, 2019; Bresch & Aznar-Siguan, 2021).

Die Ergebnisdarstellung verwendet pro Emissionsszenario Medianwerte sowie ein 10. und 90. Perzentil. Die Unsicherheitsbandbreiten sollen die Streuung der modellierten Schäden abbilden. In den Totalspalten der Sturmtabelle sind die ausgewiesenen Perzentile allerdings nicht mit den Komponenten Immobilien, Mobilien und Infrastruktur konsistent. So liegt beispielsweise der Median des Referenzschadens bei 82 Mio. CHF/Jahr.

Parametrisierung

Als Intensitätsvariable wurde die maximale Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe verwendet:

$$I = v_{\text{gust}} \text{ [m/s]}$$

Als Kalibrierungswerte wurden angesetzt:

Objektklasse	v_0	v_{50}	β	$MDR_{\max}$
Immobilien	25 m/s	70 m/s	4.0	0.35
Mobilien	28 m/s	65 m/s	4.0	0.30

Infrastruktur	30 m/s	75 m/s	4.0	0.40
---------------	--------	--------	-----	------

Für Immobilien ergibt sich hieraus:

$$MDR_{Imm}(v) = 0.35 \frac{[\max(0, (v - 25)/45)]^4}{1 + [\max(0, (v - 25)/45)]^4}$$

Böengeschwindigkeit	MDR Immobilien
≤25 m/s	0 %
30 m/s	ca. 0.005 %
40 m/s	ca. 0.4 %
50 m/s	ca. 3 %
60 m/s	ca. 9 %
70 m/s	17.5 %
sehr hohe Intensität	asymptotisch 35 %

Modellierung der Hagelgefahr

Der Einfluss des Klimawandels auf Häufigkeit und Intensität von Hagelereignissen war zum Zeitpunkt der Analyse nicht robust bestimmbar. Die Änderungssignale der verfügbaren Klimamodelle waren zu unklar, um daraus belastbare RCP-spezifische Gefährdungsänderungen abzuleiten. Daher wird die historische Hagelklimatologie von MeteoSchweiz in die Zukunft fortgeschrieben. Um dennoch eine Bandbreite möglicher Kostenfolgen angeben zu können, wurde die Hagelklimatologie mit einem szenarioabhängigen Expositionsfaktor modifiziert:

$$E_{i,s} = E_{i,ref} \cdot g_s,$$

mit

$$g_{2.6} = \frac{353}{312} = 1.15$$

$$g_{4.5} = \frac{398}{312} = 1.30$$

$$g_{8.5} = \frac{450}{312} = 1.45.$$

Die Faktoren g_s stellen keine klimatisch bedingte Veränderung der Hagelgefährdung dar, sondern eine szenariospezifische Skalierung der Exposition beziehungsweise einen

empirischen Kalibrierungsfaktor. Damit berücksichtigt die Modellierung das kantonale Ausbaupotential dachgebundener Photovoltaik. PV ist dabei nur eine exemplarische Gebäudekomponente. Zahlreiche andere Teile der Gebäudehülle sind ebenfalls hagelgefährdet und teilweise weniger widerstandsfähig.

Parametrisierung

Für Hagel wurde die maximale Hagelkorngrösse

$$I = d_{\text{hail}} [\text{mm}]$$

als Intensitätsparameter mit folgenden Parametern verwendet:

Objektklasse	d_0	d_{50}	β	MDR_{max}
Immobilien	20 mm	55 mm	4.0	0.40
Mobilien	15 mm	45 mm	4.0	0.60
Infrastruktur	25 mm	65 mm	4.0	0.25
PV optional separat	20 mm	45 mm	5.0	0.80

Für Immobilien ergibt sich hieraus:

$$MDR_{\text{Imm,Hagel}}(d) = 0.40 \frac{[\max(0, (d - 20)/35)]^4}{1 + [\max(0, (d - 20)/35)]^4}$$

Hagelkorngrösse	MDR Immobilien	MDR Mobilien
15 mm	0 %	0 %
20 mm	0 %	ca. 0.05 %
30 mm	ca. 0.3 %	ca. 3.5 %
40 mm	ca. 3.9 %	ca. 20 %
50 mm	ca. 14 %	ca. 39 %
>60 mm	stark ansteigend	sehr hoher Schaden

Expositionsmodell

Die Exposition beschreibt die räumliche Verteilung selektiver Werte, die von Sturm oder Hagel betroffen sein können: Gebäude, Fahrzeuge und das Potential dachgebundener PV-Anlagen. Infrastruktur wird als eigene Schadenskategorie ausgewiesen. Die Expositionsdaten werden kantonal aufbereitet und anschliessend national aggregiert.

Für Gebäude wird das eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) als Datengrundlage verwendet. Für die Kalibrierung beziehungsweise Plausibilisierung der Schäden werden aggregierte Elementarschäden der kantonalen Gebäudeversicherungen über den Interkantonalen Rückversicherungsverband herangezogen. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass die Expositionsbestände heterogen und dynamisch sind. Gebäudealter, Materialien, Dachformen, PV- und Gründachanteile, Fahrzeugbestände und Netzgüter verändern sich über die Zeit, werden in den kantonalen Daten aber nicht in einer einheitlichen, zukunftsgerichteten Form dokumentiert.

Neue Bauzonen werden nicht angesetzt. Bevölkerungswachstum wird ebenfalls explizit ausgeschlossen. Damit soll der Nettoeffekt des Klimawandels sichtbar bleiben und nicht durch eine räumliche Ausweitung der Exposition überlagert werden. Nachverdichtung innerhalb bestehender Bauzonen wird als mit dieser Annahme vereinbar interpretiert, sofern sie nicht zu einer zusätzlichen räumlichen Gefahrenexposition führt.

Vulnerabilitätsmodell

Die Vulnerabilität beschreibt die Wertminderung eines Objekts in Abhängigkeit von der Ereignisintensität. Bei schwachen Sturmereignissen ist die relative Schadensquote gering; bei starken Ereignissen kann sie überproportional ansteigen. Für Hagel gilt die gleiche Logik: Mit wachsender Beanspruchung steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Bauteile, Fahrzeuge oder technische Komponenten beschädigt werden.

Durch die Simulation zahlreicher möglicher Ereignisse und den Vergleich mit historischen Schäden werden Vulnerabilitäten auf Ebene von Objektkategorien abgeleitet und in die Zukunft fortgeschrieben.

Die Übertragbarkeit der Vulnerabilitätsfunktionen ist eine zentrale Modellunsicherheit. Schadenfunktionen werden teilweise aus anderen Regionen oder Ereignissen abgeleitet. Unterschiede in Schweizer Bauweisen, Dachdeckungen, Befestigungssystemen und PV-Montagearten werden damit nur eingeschränkt erfasst. Kaskadeneffekte, beispielsweise Folgeschäden nach einem ersten Defekt der Gebäudehülle, sind ebenfalls selten explizit enthalten.

Schadensindikatoren und Kostenlogik

Gefahr	Quantifizierte Schadenskategorien	Einheit	Bemerkung
Sturm	Immobilien, Mobilien, Infrastruktur	Mio. CHF/Jahr	Direkte Sachschäden; Personenschäden und indirekte Schäden nicht separat modelliert.
Hagel	Immobilien, Mobilien, Infrastruktur; Landwirtschaft im Methodentext genannt	Mio. CHF/Jahr	Landwirtschaft wird in der Ergebnistabelle nicht separat ausgewiesen.

Tabelle 1: Quantifizierte Schadensindikatoren. Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

Die Auswirkungen werden unmittelbar monetär als Sachschäden ausgedrückt. Eine separate nachgelagerte Monetarisierung eines physischen Indikators ist daher nicht erforderlich. Dies unterscheidet Sturm und Hagel von anderen Klimarisiken des Projekts, bei denen zunächst physische Veränderungen und anschliessend Kosten berechnet werden.

Szenarien, Zeitbezug und Unsicherheiten

Die übergeordnete Systemgrenze des Projekts vergleicht die Referenzperiode mit dem Zeithorizont 2060 und verwendet die Emissionsszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5. Für Sturm werden diese Szenarien als unterschiedliche Gefährdungszustände verwendet. Für Hagel wird der oben beschriebene RCP-spezifische Expositions faktor verwendet.

Gemäss Programmrahmen werden keine zukünftigen Preissteigerungen in die Kosten integriert. Alle Kosten sind somit als reale Grössenordnungen im Preisniveau des Projekts zu interpretieren.

Verwendete Datengrundlagen

Datengrundlage	Verwendung im Modell	Dokumentierter Status
CH2018 Klimaszenarien	Winddaten und klimawandelbedingte Veränderungen der Sturmgefährdung	Im Ergebnisbericht genannt; genaue Variable und Transformation nicht dokumentiert.
MeteoSchweiz Hagelklimatologie	Historische räumliche Verteilung der Hagelgefährdung	In die Zukunft unverändert fortgeschrieben.
VKG Ereignisanalyse Sommerunwetter 2021	Plausibilisierung historischer Ereignisse und Schäden	Als Ereignisquelle genannt.
Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)	Räumliche Verteilung von Gebäuden	Kantonale Exposition.
IKV Elementarschäden 2005-2024	Aggregierte Gebäudeschäden durch Wind und Hagel	Historische Schadensbasis beziehungsweise Kalibrierung.
Massnahmentabelle NCCS P5	Auswahl, qualitative Bewertung und Konkretisierung der Anpassungsmassnahmen	Separate Projektdatei.

Tabelle 2: Zentrale Datengrundlagen und Rolle in der Modellierung.

Nicht berücksichtigte Aspekte

- Erhöhtes Windbruchrisiko von Bäumen infolge Trockenstress oder Schädlingsbefall wird nicht quantitativ berücksichtigt.
- Ein möglicher künftiger Ausbau von Stadtbäumen und damit verbundene zusätzliche Sturmschäden werden nicht modelliert.
- Freiflächen-Photovoltaik wird nicht als zukünftige Exposition modelliert; der Fokus liegt auf dachgebundenen PV-Anlagen.
- Compound Events wie Wind, Hagel und Starkregen werden nicht gemeinsam modelliert.
- Betriebsunterbrüche, Lieferketteneffekte, Verkehrsbehinderungen und Gesundheitsfolgen fehlen in der direkten Schadensmodellierung.
- Nichtversicherte Schäden sind in versicherungsbasierten historischen Datengrundlagen tendenziell unterrepräsentiert.
- Kostensteigerungen bis 2060 werden gemäss Programmrahmen nicht berücksichtigt.

Klimaanpassung

Selektion von Anpassungsmassnahmen

Die Massnahmentabelle ordnet Anpassungsoptionen nach Akteur, Zielgruppe, Massnahmenpaket, Massnahmenkategorie, geplanter oder autonomer Anpassung und einer Reihe qualitativer Bewertungskriterien. Für das Risiko SH-Schäd sind Massnahmen auf Bundes-, Kantons-, Gemeinde-, Privat- und Unternehmensebene erfasst. Der Ergebnisbericht verdichtet diese Auswahl zu drei Massnahmenpaketen: Objektschutz, Prävention Sturm- und Hagelereignisse sowie Landwirtschaft.

Die quantitative Kostenmodellierung verwendet nicht jede Einzelmassnahme separat, sondern einen Massnahmenmix von Objektschutzmassnahmen. Damit werden unterschiedliche technische und organisatorische Eingriffe auf Portfolioebene zusammengeführt.

Massnahmenpaket	Massnahmen laut Ergebnisbericht	Anpassungstyp
Objektschutz	Temporäre Objektschutzmassnahmen; permanente Objektschutzmassnahmen an Gebäuden	Autonom und geplant
Prävention Sturm und Hagel	Forschung und Monitoring; Integration in SIA-Normierung; Integration in Notfallkonzepte; Information und Sensibilisierung	Geplant
Landwirtschaft	Hagelnetze und Überdachungssysteme; Sturm- und Hagelversicherungen	Autonom

Tabelle 3: Im Ergebnisbericht zusammengefasste Anpassungsmassnahmen.

Gebäudebezogener Objektschutz gegen Sturm

Der Reiter «Massnahmen_KlimaangepasstGebäud» der Massnahmentabelle enthält eine detaillierte, technische Konkretisierung des Objektschutzes. Für Sturm werden insbesondere Massnahmen zur mechanischen Sicherung der Gebäudehülle und exponierter Anbauten genannt:

Bereich	Beispiele aus der Massnahmentabelle
Dachsysteme	Sturmsichere Dachsysteme; vollflächig verklebte Flachdächer; Sicherung von Randabdeckungen.
Steildach	Nachrüstung beziehungsweise Ergänzung von Sturm- und Seitenfalzklammern; Sicherung von Ortgang, Traufe und First.
Flachdachabdichtung	Mechanische Befestigung oder vollflächige Verklebung; erhöhte Befestigungsraten in Rand- und Eckzonen.
Fassaden und Dämmung	Stabile Verankerung von Isolierungs- und Fassadenelementen im Tragwerk.
Fenster und Türen	Sturmsichere Fenster und Türen mit verstärkten Rahmen beziehungsweise Sicherheitsverglasung.
PV und Dachaufbauten	Sturmgerichte Befestigung, Systemnachweise für Windlast, korrekte Ballastierung beziehungsweise Verankerung.
Storen	Automatisches Einfahren bei Sturm; Kombination mit robusteren Profilen.
Bäume und Umfeld	Regelmässige Kontrolle, Pflege und Entfernung instabiler Äste.
Wartung	Jährliche Sichtkontrolle, Reinigung von Rinnen und Einläufen sowie Nachziehen von Befestigungen.

Tabelle 4: Detaillierte Objektschutzmassnahmen mit Schwerpunkt Sturm. Quelle: NCCS-P5-Massnahmentabelle.

Die Massnahmentabelle hinterlegt für diese Einzelmassnahmen überwiegend keine quantitativen CAPEX- oder OPEX-Werte. Einzelne Beschreibungen nennen technische Normen beziehungsweise Kostenhinweise, diese sind jedoch nicht systematisch und nicht ausreichend, um den nationalen Massnahmenmix von den Einzelmassnahmen aus nachzurechnen. Im quantitativen Modell werden deshalb aggregierte Anpassungskosten verwendet.

Gebäudebezogener Objektschutz gegen Hagel

Bereich	Beispiele aus der Massnahmentabelle
Hagelgeprüfte Bauteile	Verwendung hagelgeprüfter Bauteile, im Spreadsheet beispielhaft mit HW3 oder höher bezeichnet.
Storen	Automatisches Hochfahren bei Hagelwarnung über Gebäudesteuerung.
Lichtkuppeln	Schutzgitter für Kunststoff-Lichtkuppeln oder Ersatz durch widerstandsfähigere Materialien.
Dach und Fassade	Materialwahl mit höherer Hagelklasse bei Erneuerungen.
Fenster und Oberlichter	Dachfenster beziehungsweise Oberlichter mit ausgewiesenem Hagelwiderstand.
Planung	Integration des Hagelschutzes bereits in die Neubauplanung.
Förderung	Finanzielle Anreize beziehungsweise Beiträge für hagelwiderstandsfähige Bauteile.

Tabelle 5: Detaillierte Objektschutzmassnahmen mit Schwerpunkt Hagel. Quelle: NCCS-P5-Massnahmentabelle.

Die detaillierten Gebäudemassnahmen verdeutlichen, dass Sturm- und Hagelresilienz häufig in denselben Bauteilen adressiert wird. Eine robuste Befestigung kann beispielsweise Windschäden reduzieren, während die Materialwahl die Hagelwiderstandsfähigkeit beeinflusst. Die Massnahmentabelle bewertet solche Synergien qualitativ als hoch beziehungsweise nennt Synergien mit Starkniederschlägen, Hitze und Leistungseinbussen. Eine monetäre Mehrfachanrechnung dieser Zusatznutzen erfolgt im Modell nicht.

Prävention, Monitoring und Normierung

Auf der Ebene der geplanten Anpassung enthält die Massnahmentabelle mehrere Massnahmen mit indirekter Wirkung. Dazu gehören Forschung zum Einfluss des Klimawandels auf Sturm und Hagel, die Weiterentwicklung des Hagelmessnetzes, eine einheitliche Hagelklimatologie, die Revision des Handbuchs Sturmschaden, die Integration neuer Erkenntnisse in Notfallkonzepte sowie die Berücksichtigung von Sturm und Hagel in Normen.

Diese Massnahmen reduzieren Schäden nicht unmittelbar durch ein physisches Schutzbauteil, erhöhen aber die Anpassungskapazität und verbessern die Grundlage für Planung, Dimensionierung und Verhalten. In der Massnahmentabelle werden ihre Investitions- und Betriebskosten qualitativ überwiegend als tief eingeschätzt. Quantitative CHF-Werte sind nicht hinterlegt. Deshalb erscheinen sie in der nationalen Kostenrechnung nicht als separat ausweisbare Kostenblöcke.

Landwirtschaft

Für die Landwirtschaft nennt die Massnahmentabelle Schutzmassnahmen wie Hagelnetze und Überdachungssysteme sowie Sturm- und Hagelversicherungen. Die Schutzbauten

reduzieren die physische Exposition beziehungsweise die Vulnerabilität von Kulturen. Versicherungen verhindern den Schaden selbst nicht, verteilen aber das finanzielle Risiko und sichern Betriebe gegen Ertragseinbussen ab.

Landwirtinnen und Landwirte werden als wirtschaftlich besonders betroffene Gruppe angesehen, wenn Versicherungslücken und geringe finanzielle Puffer bestehen. Gleichzeitig besteht für die Schweiz ein relativ hoher Versicherungsschutz.

Modellierung der Wirksamkeit

Der Massnahmenmix und die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung können so gewählt werden, dass ein wesentlicher Teil der Schäden vermieden wird. Als Zielgrösse kann ungefähr die Hälfte der Schadenskosten angesehen werden, während die tabellierten Restschäden eine deutlich höhere Reduktion ausweisen: bei Sturm 70 bis 94 % und bei Hagel rund 64 %.

Mit stärkerem Klimawandel nimmt die Wirksamkeit des Sturmschutzes relativ ab. Unter RCP 2.6 werden 94 % der Sturmschäden vermieden, unter RCP 8.5 noch 70 %. Dies ist damit zu interpretieren, dass bei sehr starken Sturmereignissen trotz Anpassung mehr Restschäden verbleiben. Für Hagel bleibt die modellierte Reduktion über die Szenarien praktisch konstant bei rund zwei Dritteln, was mit der unveränderten Hagelklimatologie und der groben Quantifizierung übereinstimmt.

Modellierung der Anpassungskosten

Die quantitativen Anpassungskosten werden für Immobilien, Mobilien und Infrastruktur separat ausgewiesen. Die Quellen dokumentieren die resultierenden nationalen Kosten, nicht jedoch die vollständigen Berechnungsparameter auf Ebene der Einzelmassnahmen. Schematisch lässt sich die Kostenlogik als Summe aus annualisierten Investitions- und laufenden Betriebskosten der umgesetzten Massnahmen darstellen:

$$C_A = \sum_i [n_i \cdot (CAPEX_i/L_i + OPEX_i)]$$

n_i bezeichnet dabei schematisch die Anzahl beziehungsweise den Umfang umgesetzter Massnahmen und L_i eine mögliche Lebensdauer zur Annualisierung.

Kostenbeteiligte und Verteilungsgerechtigkeit

Die Schadenskosten an Immobilien werden zu 80 % den Kantonen zugeordnet. Dies reflektiert die Rolle der kantonalen Gebäudeversicherungen. Haushalte zahlen Versicherungsprämien, diese sind aber nicht direkt proportional zum individuellen Schaden. Bei steigenden durchschnittlichen Schäden wird langfristig dennoch mit höheren Prämien gerechnet. Mobilienkosten fallen primär bei Haushalten und Privatwirtschaft an; Infrastrukturkosten überwiegend bei Bund und Kantonen.

Bei Anpassungsmassnahmen verschiebt sich die Verteilung. Objektschutz an Immobilien liegt stärker in der Eigenverantwortung von Eigentümerinnen und Eigentümern, weshalb Privatwirtschaft und Haushalte zusammen 80 % der Anpassungskosten tragen. Infrastruktur wird stärker durch Bund und Kantone finanziert. Die Massnahmentabelle weist zudem darauf

hin, dass Personen mit tiefem sozioökonomischem Status zwar besonders von Schäden betroffen sein können, aber weniger Mittel für eigenverantwortliche Anpassung besitzen. Finanzielle Unterstützung beziehungsweise gezielte Anreize können daher für die Verteilungsgerechtigkeit relevant sein.

Maladaptation und Zielkonflikte

- Vollständige Versiegelung und besonders harte Aussenflächen können Sturm- und Hagelrobustheit erhöhen, gleichzeitig aber den Oberflächenabfluss bei Starkregen verstärken.
- Ein Verzicht auf Gründächer oder Stadtgrün aus Sorge vor Sturm- oder Hagelschäden kann Vorteile für Kühlung, Retention, Luftqualität und Biodiversität vermindern.
- Pauschale Baumfällungen zur Reduktion von Windwurf- und Astbruchrisiken können Hitze- und Starkregenrisiken erhöhen.
- Flächiges Bergungs-Holzschlagen nach Windwurf kann Biodiversität, Bodenfunktionen und Regeneration beeinträchtigen und dadurch Erosionsbeziehungsweise Murgangrisiken erhöhen.
- Überdimensionierte und materialintensive technische Lösungen können hohe Umwelt- und CO₂-Wirkungen verursachen. Der Ergebnisbericht empfiehlt, naturbasierte beziehungsweise ressourceneffiziente Alternativen mitzudenken.

Ergebnisse

Schadenskosten ohne Anpassung

Die nachfolgende Tabelle reproduziert die Medianwerte des Ergebnisberichts.

Gefahr	Szenario	Immobilien	Mobilien	Infrastruktur	Total
Sturm	Referenz	68	6.8	6.8	82
Sturm	RCP 2.6	72	7.2	7.2	86
Sturm	RCP 4.5	78	7.8	7.8	94
Sturm	RCP 8.5	85	8.5	8.5	102
Hagel	Referenz	93	200	19	312
Hagel	RCP 2.6	105	227	21	353
Hagel	RCP 4.5	119	255	24	398
Hagel	RCP 8.5	135	288	27	450

Tabelle 6: Jährliche Schadenskosten ohne Anpassung (Median, Mio. CHF/Jahr). Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

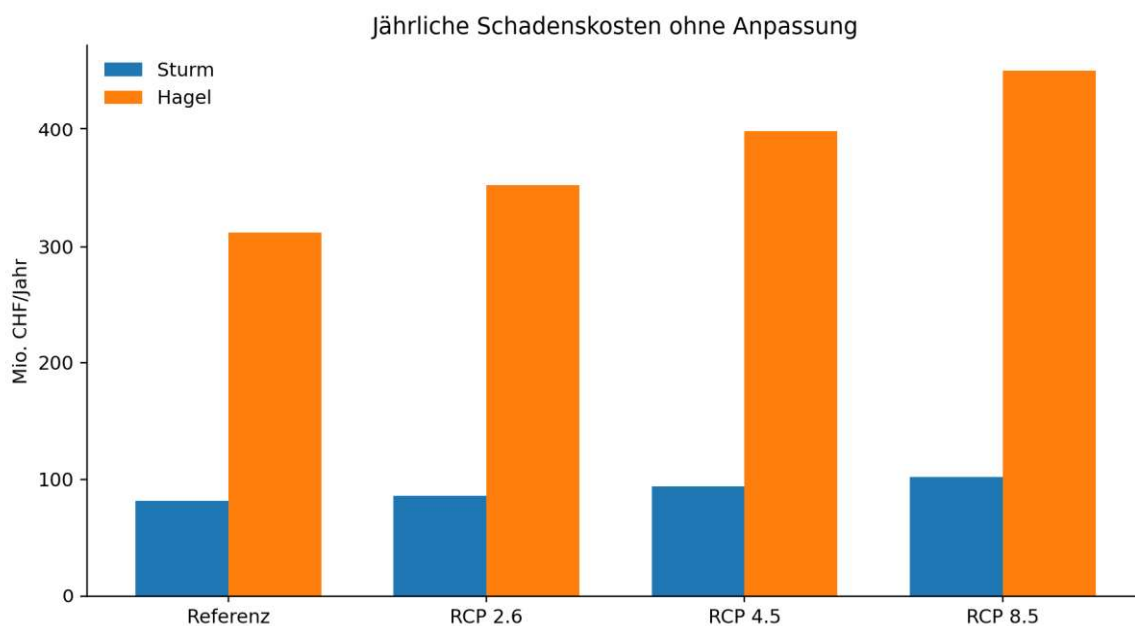


Abbildung 2: Jährliche Schadenskosten durch Sturm und Hagel ohne Anpassung. Dargestellt sind die Medianwerte des Ergebnisberichts.

Die Sturmschäden steigen gegenüber der Referenz von 82 Mio. CHF/Jahr auf 86 Mio. CHF unter RCP 2.6, 94 Mio. CHF unter RCP 4.5 und 102 Mio. CHF unter RCP 8.5. Der Mediananstieg bis RCP 8.5 beträgt damit rund 24 % gegenüber der Referenz.

Die Hagelschäden liegen deutlich höher und werden von Mobilien dominiert. Der Referenzwert von 312 Mio. CHF/Jahr steigt in den Ergebnistabellen auf 353, 398 und 450 Mio. CHF/Jahr. Unter RCP 8.5 entspricht dies einem Anstieg um rund 44 % gegenüber der Referenz.

Wie bereits erläutert, ist dieser Anstieg nicht als explizites klimawandelbedingtes Hagelsignal zu interpretieren, da die Hagelklimatologie im Modell konstant gehalten wird.

In der kombinierten Betrachtung ergeben sich für 2060 jährliche Schäden von 439 Mio. CHF unter RCP 2.6, 492 Mio. CHF unter RCP 4.5 und 552 Mio. CHF unter RCP 8.5. Diese kombinierten Werte bilden auch die Ausgangsimpulse der gesamtwirtschaftlichen Modellierung.

Verteilung der Schadenskosten

Schadens- kategorie	Bund	Kantone	Städte/Gemeinden	Privatwirtschaft	Haushalte
Immobilien	5 %	80 %	5 %	5 %	5 %
Mobilien	5 %	5 %	5 %	25 %	60 %
Infrastruktur	45 %	35 %	15 %	5 %	0 %

Tabelle 7: Verteilung der Schadenskosten auf die Beteiligten. Quelle: Experteneinschätzung im NCCS-P5-Ergebnisbericht.

Die hohe kantonale Zuordnung bei Immobilien ist nicht als unmittelbare Belastung der kantonalen Haushalte im engeren Sinn zu lesen, sondern reflektiert die Einordnung der kantonalen Gebäudeversicherungen in die Akteursgruppe Kantone. Bei Mobilien dominieren Haushalte; Infrastruktur ist überwiegend eine Belastung der öffentlichen Hand.

Anpassungskosten

Gefahr	Szenario	Immobilien	Mobilien	Infrastruktur	Total
Sturm	RCP 2.6	5.8	0.6	0.6	7.0
Sturm	RCP 4.5	11.6	1.2	1.2	14.0
Sturm	RCP 8.5	28.9	2.9	2.9	34.7
Hagel	RCP 2.6	28.0	69.0	5.2	102
Hagel	RCP 4.5	34.0	75.0	6.7	116
Hagel	RCP 8.5	38.6	82.7	7.7	129

Tabelle 8: Jährliche Anpassungskosten (Mio. CHF/Jahr). Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

Die Anpassungskosten gegen Hagel liegen deutlich über jenen gegen Sturm. Dies folgt insbesondere aus den hohen ausgewiesenen Kosten im Bereich Mobilien.

Verteilung der Anpassungskosten

Schadens- kategorie	Bund	Kantone	Städte/Gemeinden	Privatwirtschaft	Haushalte
Immobilien	3 %	7 %	10 %	35 %	45 %
Mobilien	1 %	1 %	3 %	30 %	65 %
Infrastruktur	30 %	25 %	15 %	28 %	2 %

Tabelle 9: Verteilung der Anpassungskosten auf die Beteiligten. Quelle: Experteneinschätzung im NCCS-P5-Ergebnisbericht.

Verbleibende Schadenskosten nach Anpassung

Gefahr	Szenario	Immobilien	Mobilien	Infrastruktur	Total	Reduktion
Sturm	RCP 2.6	4.3	0.4	0.4	5.2	-94 %
Sturm	RCP 4.5	9.4	0.9	0.9	11.3	-88 %
Sturm	RCP 8.5	25.4	2.5	2.5	30.5	-70 %
Hagel	RCP 2.6	11	24	2	37	-64 %
Hagel	RCP 4.5	13	27	3	42	-64 %
Hagel	RCP 8.5	14	31	3	48	-64 %

Tabelle 10: Verbleibende Schadenskosten nach Anpassung (Mio. CHF/Jahr). Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

Der modellierte Massnahmenmix ist insbesondere bei Sturm unter RCP 2.6 sehr wirksam. Von 86 Mio. CHF/Jahr verbleiben 5.2 Mio. CHF. Unter RCP 8.5 steigt der Restschaden auf 30.5 Mio. CHF und die relative Schadensreduktion sinkt auf 70 %. Dies zeigt innerhalb der Modelllogik die Grenzen eines statischen beziehungsweise begrenzt intensivierbaren Anpassungsmixes bei stärkeren Sturmereignissen.

Bei Hagel liegt die Schadensreduktion in allen drei Szenarien bei rund 64 %. Die verbleibenden Schäden steigen von 37 auf 48 Mio. CHF/Jahr. Die nahezu konstante relative Wirksamkeit passt zu einer Modellierung, bei der die grundlegende Hagelklimatologie nicht szenarioabhängig verändert wird.

Gesamtkosten aus Anpassung und verbleibendem Schaden

Gefahr	Szenario	Restschaden	Anpassung	Gesamtkosten	Veränderung ggü. ohne Anpassung
Sturm	RCP 2.6	5.2	7.0	12.1	-86 %
Sturm	RCP 4.5	11.3	14.0	25.1	-73 %
Sturm	RCP 8.5	30.5	34.7	65.1	-63 %
Hagel	RCP 2.6	37	102	139	-53 %
Hagel	RCP 4.5	42	116	158	-57 %
Hagel	RCP 8.5	48	129	178	-61 %

Tabelle 11: Gesamtkosten mit Anpassung (Mio. CHF/Jahr). Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

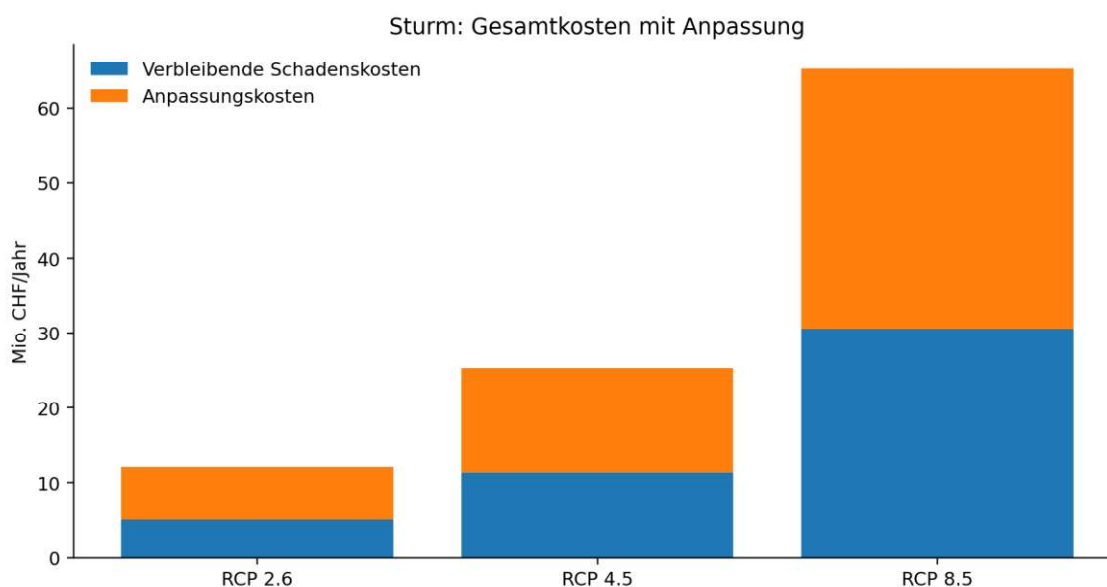


Abbildung 3: Sturmschäden - Zusammensetzung der Gesamtkosten mit Anpassung.

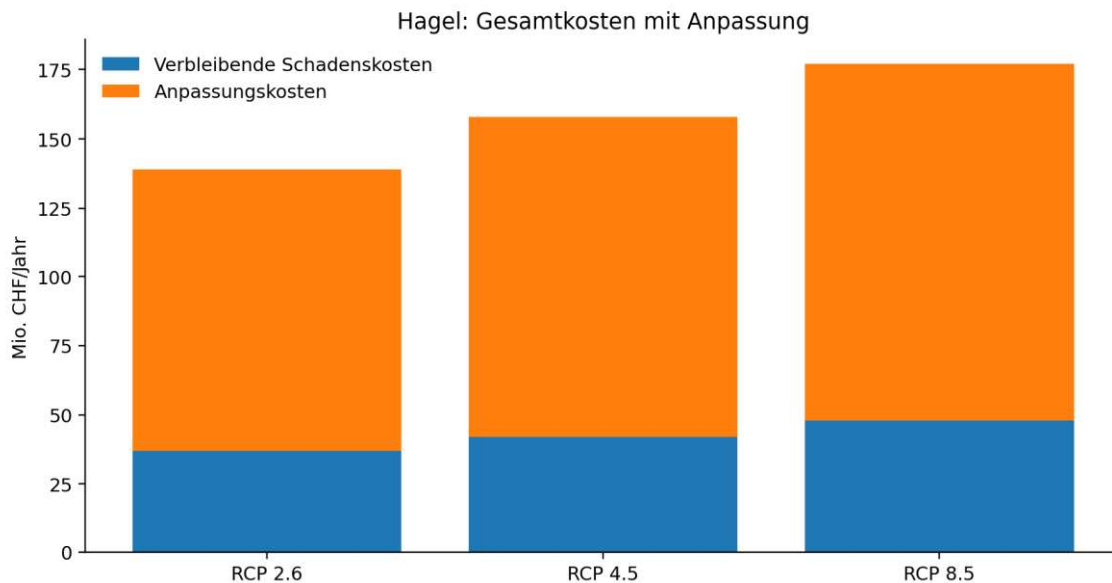


Abbildung 4: Hagelschäden - Zusammensetzung der Gesamtkosten mit Anpassung.

Für beide Gefahren zusammen ergeben sich aus den tabellierten Medianwerten Gesamtkosten von rund 151 Mio. CHF/Jahr unter RCP 2.6, 183 Mio. CHF/Jahr unter RCP 4.5 und 242 Mio. CHF/Jahr unter RCP 8.5. Ohne Anpassung betragen die kombinierten Schäden 439, 492 beziehungsweise 552 Mio. CHF/Jahr. Die rechnerische Reduktion der kombinierten Kosten liegt damit bei rund 66 %, 63 % und 56 %.

Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen

Die gesamtwirtschaftliche Modellierung folgt derselben Logik wie beim Klimarisiko Starkniederschläge. Die direkten Schäden werden als Ausgaben zur Schadensbehebung interpretiert. Diese Ausgaben erzeugen positive Nachfrageimpulse, insbesondere in Branchen, die Reparaturen, Bauleistungen, Materialien oder Dienstleistungen bereitstellen. Gleichzeitig müssen öffentliche Hand, Privatwirtschaft und Haushalte die Ausgaben finanzieren. Dafür werden Rückstellungen gebildet, Investitionen reduziert oder Konsumausgaben eingeschränkt.

Mit Anpassung kommen zusätzliche positive Nachfrageimpulse durch die Umsetzung von Schutzmassnahmen hinzu. Gleichzeitig sinkt der Umfang der notwendigen Schadensbehebung. In der Gesamtsicht überwiegen die negativen Effekte des Konsum- und Investitionsverzichts die positiven Produktionsimpulse.

Indikator	RCP 2.6 ohne Anpassung	RCP 2.6 mit Anpassung	RCP 8.5 ohne Anpassung	RCP 8.5 mit Anpassung
Bruttowertschöpfung, total (Mio. CHF/Jahr)	-54	-17	-69	-23
Beschäftigung, total (VZÄ/Jahr)	-220	-50	-275	-70
Steuereinnahmen, total (Mio. CHF/Jahr)	-8	-2	-10	-3

Tabelle 12: Totale gesamtwirtschaftliche Effekte von Sturm und Hagel. Quelle: NCCS-P5-Ergebnisbericht.

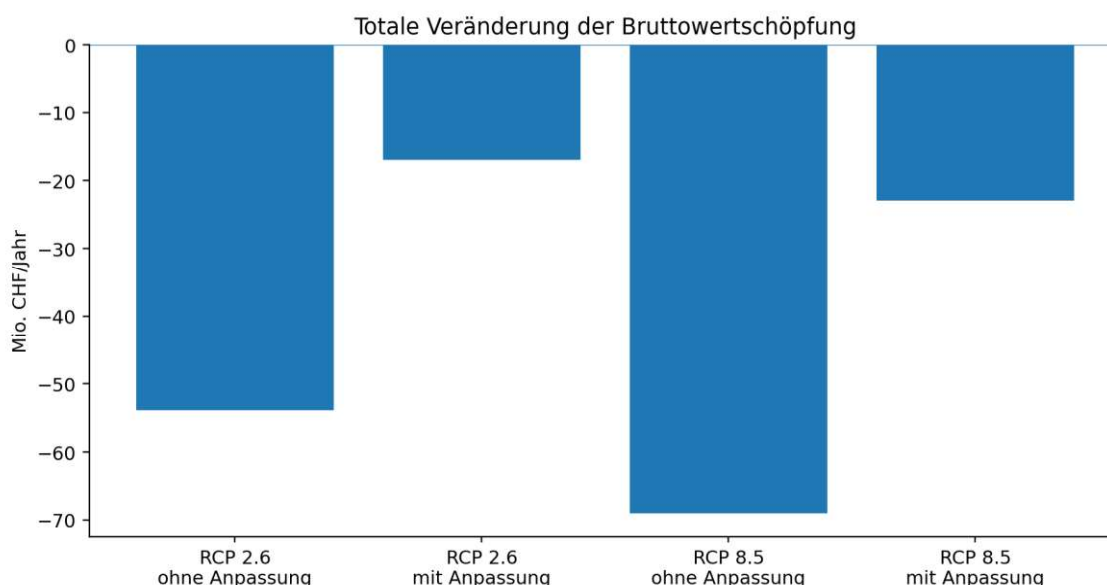


Abbildung 5: Totale Veränderung der Bruttowertschöpfung durch Sturm- und Hagelschäden mit und ohne Anpassung.

Unter RCP 8.5 sinkt die Bruttowertschöpfung ohne Anpassung um rund 69 Mio. CHF/Jahr. Mit Anpassung reduziert sich dieser Verlust auf rund 23 Mio. CHF/Jahr. Der Ergebnisbericht weist damit eine Verringerung des BWS-Verlustes um ungefähr 60 % aus. Die Beschäftigungsverluste sinken im gleichen Szenario von rund 275 auf 70 VZÄ/Jahr, die negativen Steuereffekte von rund 10 auf 3 Mio. CHF/Jahr.

Brancheneffekte und Verteilung

Die Brancheneffekte ähneln gemäss Ergebnisbericht jenen bei Starkniederschlägen. Öffentliche Verwaltung und soziale Bereiche weisen vergleichsweise hohe Verluste auf, während verarbeitendes Gewerbe, Handel, Verkehr und Baugewerbe von Wiederherstellungs- und Anpassungsausgaben profitieren können. Die positive Brancheneffekte ist kein Hinweis auf einen gesellschaftlichen Nutzen der Schäden; sie entsteht, weil Reparatur und Anpassung wirtschaftliche Aktivität auslösen, die an anderer Stelle durch Rückstellungen und Konsumverzicht finanziert werden muss.

Für die Verteilungseffekte auf Haushalte wird eine gleichmässige Aufteilung der Kosten auf die fünf Einkommensquintile unterstellt. Damit trägt jedes Quintil rechnerisch 20 % der

Haushaltskosten. Weil derselbe absolute Betrag bei niedrigerem Einkommen einen höheren Anteil des verfügbaren Budgets beansprucht, sind einkommensschwächere Haushalte relativ stärker betroffen.

Einordnung der Ergebnisse

Hagel dominiert die direkten jährlichen Sachschäden in allen ausgewiesenen Zuständen. Dies ist besonders auf die hohen Mobilienkosten zurückzuführen. Sturm weist geringere absolute Schäden auf, zeigt aber eine klarere klimatische Szenariologik, weil die Gefährdungsseite mit CH2018 verändert wird.

Die Anpassung ist in der Modellierung ökonomisch vorteilhaft: Die Summe aus Anpassungskosten und verbleibenden Schäden liegt in allen Szenarien deutlich unter den Schäden ohne Anpassung. Gleichzeitig nimmt die relative Vorteilhaftigkeit des kombinierten Massnahmenmixes mit stärkerem Klimawandel ab, wenn Sturm und Hagel gemeinsam betrachtet werden. Dies liegt vor allem an der sinkenden relativen Wirksamkeit des Sturmschutzes unter RCP 8.5.

Die hohen modellierten Wirkungen der Anpassung sind jedoch eng mit den nicht vollständig dokumentierten Annahmen zu Massnahmenmix und Umsetzung verknüpft. Für Investitionsentscheidungen auf Objekt- oder Portfolioebene müssen deshalb objektspezifische Gefährdung, Vulnerabilität, technische Machbarkeit und Kosten ergänzt werden.

Limitationen und Potential zur Erweiterung des Modells

Verfeinerung der Sturmgefahr

- Bereitstellung des verwendeten CH2018-Winddatensatzes und der Transformation von Klimamodelloutput in Ereignisintensitäten und -frequenzen.
- Dokumentation und Versionierung des CLIMADA-Ereignissets inklusive Frequenzgewichten.
- Räumlich feinere Modellierung exponierter Lagen, um kantonale Mittelwerte durch lokale Wind- und Geländeeffekte zu ergänzen.
- Trennung von Unsicherheit aus Klimamodell, Ereignisfrequenz und Vulnerabilitätsfunktion.

Diese Erweiterungen entsprechen dem im Technischen Wasserkraftbericht verwendeten Grundprinzip, Modellannahmen nicht nur als Punktwerte, sondern als nachvollziehbare, versionierte Parameter und Bandbreiten auszuweisen.

Weiterentwicklung der Hagelmodellierung

- Aktualisierung und langfristige Sicherung einer flächendeckenden Hagelklimatologie sowie Weiterentwicklung des Hagelmessnetzes, wie in der Massnahmentabelle vorgesehen.
- Explizite Trennung von veränderter Exposition und einem zukünftigen klimatischen Hagelsignal.
- Dokumentation, weshalb die Ergebnistabellen RCP-spezifische Hagelschäden ausweisen, obwohl die Gefährdung im Methodentext konstant gehalten wird.
- Erweiterung der Exposition über PV hinaus auf weitere hagelsensitive Komponenten der Gebäudehülle.

Lokale Kalibrierung der Vulnerabilität

Der Ergebnisbericht empfiehlt eine lokale Kalibrierung mit Schweizer Claims- und Expertendaten. Ein künftiges Modell sollte getrennte Vulnerabilitätsfunktionen für relevante Bauklassen, Dachdeckungen, Fassadensysteme, Fenster, Storen und PV-Montagearten führen. Damit könnten sowohl die heutige Heterogenität als auch die Wirkung konkreter Anpassungsmassnahmen direkt in den Schadenfunktionen abgebildet werden. Besonders wichtig wäre eine konsistente Verknüpfung zwischen technischen Hagel- beziehungsweise Windwiderstandsklassen und monetären Schadenquoten.

Mehrgefahren- und Kaskadeneffekte

Wind, Hagel und Starkregen können gemeinsam auftreten. Die Single-Hazard-Modellierung kann dadurch Schäden unterschätzen, wenn ein erster Defekt der Gebäudehülle nachfolgende Wasserschäden ermöglicht oder wenn dieselben Bauteile gleichzeitig mehreren Einwirkungen ausgesetzt sind. Der Ergebnisbericht empfiehlt deshalb Multi-Gefahren-Szenarien und Ereignisssets mit Abhängigkeitsstrukturen. Für die Anpassungsplanung ist dies ebenfalls relevant, weil manche Massnahmen Synergien erzeugen, während andere Maladaptation auslösen können.

Indirekte und nichtversicherte Schäden

Die heutige Modellierung konzentriert sich auf direkte Sachschäden. Weiterführende Analysen sollten Betriebsunterbrüche, Lieferketten, Verkehrsbehinderungen und weitere sekundäre Wirkungen ergänzen. Nichtversicherte Schäden könnten über Hochrechnungsfaktoren mit Bandbreiten einbezogen werden. Dafür ist zunächst eine systematische Trennung zwischen versicherten und nichtversicherten Expositions- und Schadenskomponenten erforderlich.

Reproduzierbares Anpassungskostenmodell

Der grösste methodische Entwicklungsbedarf auf Anpassungsseite besteht in der Verbindung der qualitativ detaillierten Massnahmentabelle mit dem quantitativen nationalen Kostenmodell. Die Gebäudereiter enthalten zahlreiche konkrete Massnahmen, aber kaum

systematische CAPEX- und OPEX-Werte. Künftig sollte jede Massnahme mit Kostenbandbreite, Lebensdauer, Wartungszyklus, technischer Eignung, Wirkungsgrad und Umsetzungswahrscheinlichkeit versehen werden.

Ein solches Modell würde es ermöglichen, unterschiedliche Anpassungspfade zu vergleichen: beispielsweise ein Minimalpaket aus Wartung und automatisierter Steuerung, ein mittleres Paket mit gezielter Verstärkung kritischer Bauteile und ein hohes Schutzniveau mit umfassender Erneuerung. Die Auswirkungen könnten direkt über angepasste Vulnerabilitätskurven in die Schadenssimulation zurückgeführt werden. Damit würde aus dem heutigen aggregierten Massnahmenmix ein technisch nachvollziehbares Portfolio-Modell.

Beschaffungs- und Planungsleitfäden

Der Ergebnisbericht empfiehlt standardisierte Beschaffungs- und Planungsleitfäden für öffentliche und private Bauherren. Dazu gehören Leistungspositionen für verstärkte Rand- und Eckzonen, Anforderungen an hagelwiderstandsfähige Bauteile, Nachweise für PV-Befestigungen sowie sturm- und hagelspezifische Punkte in Abnahmeprotokollen. Diese Empfehlung schliesst direkt an die Massnahmentabelle an, welche Normierung, Information und Sensibilisierung als geplante Anpassungsmassnahmen einordnet.

Schlussfolgerungen

Die NCCS-Modellierung zeigt, dass Sturm und Hagel bereits unter heutigen Bedingungen ein relevantes Sachschadensrisiko darstellen. In der Referenz liegen die modellierten jährlichen Schäden bei rund 82 Mio. CHF für Sturm und 312 Mio. CHF für Hagel. Bis 2060 steigen die Sturmschäden mit zunehmender Erwärmung moderat, während die tabellierten Hagelschäden deutlich zunehmen. Für Hagel ist diese Veränderung jedoch nicht als explizites Klimasignal zu interpretieren, weil die Gefährdung mangels robuster Projektionen konstant fortgeschrieben wird.

Die Kombination aus Gefahr, Exposition und Vulnerabilität ist methodisch geeignet, um die unterschiedlichen Treiber der Schäden strukturiert abzubilden. Die vorhandene Dokumentation reicht jedoch nicht aus, um die Modellierung vollständig neu zu implementieren. Insbesondere fehlen die konkreten Hazard-Transformationen, Eventsets, Vulnerabilitätsfunktionen und Anpassungsparameter. Für Hagel besteht zusätzlich eine offene Frage zur Herleitung der RCP-spezifischen Ergebnismwerte.

Der modellierte Anpassungsmix reduziert die erwarteten Schäden stark. Die jährlichen Gesamtkosten aus Anpassung und Restschaden liegen deutlich unter den Schäden ohne Anpassung. Die Ergebnisse sprechen damit für einen frühzeitigen, kombinierten Ansatz aus baulichem Objektschutz, betrieblicher Prävention, Monitoring, Normierung, Kommunikation und Versicherung. Die Massnahmentabelle zeigt, dass viele konkrete Schutzoptionen bereits technisch benennbar sind; ihre Kosten und Wirkungen müssen für eine belastbare Investitionspriorisierung jedoch systematisch quantifiziert werden.

Für die weitere Modellentwicklung sind drei Punkte prioritär: erstens eine transparent versionierte Gefährdungsmodellierung für Sturm und perspektivisch Hagel, zweitens lokal

kalibrierte Vulnerabilitätsfunktionen für Schweizer Bau- und Mobilienbestände und drittens ein massnahmenbasiertes Kosten-Wirkungs-Modell, das die im Spreadsheet beschriebenen technischen Massnahmen direkt mit veränderten Schadensfunktionen verknüpft. Ergänzend sollten Mehrgefahren- und indirekte Schäden berücksichtigt werden. Damit kann aus der heutigen nationalen Grössenordnung ein reproduzierbares Modell für kantonale, kommunale und objektspezifische Anpassungsentscheidungen weiterentwickelt werden.

Referenzen

Aznar-Siguan, G. & Bresch, D. N. (2019). CLIMADA v1: A global weather and climate risk assessment platform. *Geoscientific Model Development*, 12(7), 3085-3097. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3085-2019>

Bresch, D. N. & Aznar-Siguan, G. (2021). CLIMADA v1.4.1: towards a globally consistent adaptation options appraisal tool. *Geoscientific Model Development*, 14, 351-363.

Bundesamt für Statistik BFS (2025b). Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister (GWR). <https://www.housing-stat.ch/de/index.html>

Bundesamt für Umwelt BAFU & Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2022). Regenwasser im Siedlungsraum. Starkniederschlag und Regenwasserbewirtschaftung in der klimaangepassten Siedlungsentwicklung.

CH2018 (2018). CH2018 - Climate scenarios for Switzerland: Technical report. National Centre for Climate Services. <https://doi.org/10.18751/Climate/Scenarios/CH2018/1.0>

Interkantonaler Rückversicherungsverband IKV (2025). Elementar: Übersicht 2005-2024 - Elementarschäden an Gebäuden (20-Jahresvergleich).

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

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

MeteoSchweiz (2024d). Hagelklimatologie. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/hagelklimatologie.html>

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

NCCS-Impacts P5 (2025/2026). Massnahmentabelle «NCCS_Impact_P5_Klimakosten_Massnahmentabelle.xlsx», insbesondere Risiko SH-Schäd und Reiter «Massnahmen_KlimaangepasstGebäud».

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

Seebauer, S., Babicky, P., Rogger, M., Dworak, T., Thaler, T. et al. (2021). Erweiterung des Hochwasserrisikomanagements durch soziale und psychologische Vulnerabilitätsindikatoren.

Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen VKG (2021). Ereignisanalyse: Die Sommerunwetter 2021 in der Schweiz.